ISSN 1992-5980

ВЕСТНИК

ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Том 9 №3(42)

2009

ВЕСТНИК
ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2009

Т.9 №3(42)

Теоретический и научно-практический журнал

Рекомендован ВАК для публикаций результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени доктора наук по направлению «Машиностроение» и кандидата наук по направлениям: «Управление, вычислительная техника и информатика», «Инженерно-агропромышленные специальности»

Издается с 1999 г.
Выходит один раз в квартал
СЕНТЯБРЬ 2009 г.

Учредитель – **Донской государственный технический университет**

Главный редактор Б.Ч. Месхи (д-р техн. наук, проф.)
Зам. главного редактора И.В. Богуславский (д-р техн. наук, проф.)
Ответственный секретарь В.П. Димитров (д-р техн. наук, проф.)

Редакционная коллегия:

Направление «Физико-математические науки»:
С.М.Айзикович (д-р физ.-мат. наук, проф.),
А.А.Лаврентьев (д-р физ.-мат. наук, проф.),
А.Н.Соловьев (д-р физ.-мат. наук, проф.)

Направление «Технические науки»:
А.П.Бабичев (д-р техн. наук, проф.), И.А.Долгов (акад. РАСХН, д-р техн. наук, проф.),
Ю.И.Ермольев (д-р техн.наук, проф.), В.П.Жаров (д-р техн. наук, проф.),
В.Л.Заковоротный (д-р техн. наук, проф.), В.А.Кохановский (д-р техн. наук, проф.),
В.Г.Люлько (д-р техн. наук, проф.), Р.А.Нейдорф (д-р техн. наук, проф.),
М.Е.Попов (д-р техн. наук, проф.), А.А.Рыжкин (д-р техн. наук, проф.),
Б.В.Соболь (д-р техн. наук, проф.), А.К.Тугенгольд (д-р техн. наук, проф.),
А.Н.Чукарин (д-р техн. наук, проф.)

Направление «Педагогические науки»:
В.В.Богуславская (д-р филол. наук, проф), Н.Ф.Ефремова (д-р пед. наук, проф.),
О.А.Полушкин (д-р техн. наук, проф.)

Направление «Философские науки»:
Т.А.Бондаренко (д-р филос. наук, проф.),
С.Я.Подопригора (д-р филос. наук, проф.), С.Н.Яременко (д-р филос. наук, проф.)

Направление «Экономические науки»:
Н.Д.Елецкий (д-р экон. наук, проф.), Ю.В.Калачев (д-р экон. наук, проф.),
А.Д.Чистяков (д-р техн. наук, проф.)

Над номером работали: О.А.Водолазова, Е.В.Хейгетян

Подписано в печать 16.07.2009.
Формат 30x42/8. Гарнитура «Tahoma». Печать офсетная.
Усл.печ.л. 24,0. Тираж 1000 экз. Заказ 325. Цена свободная

Адрес редакции:
344000, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина, 1,
тел. 2-738-747
Адрес издательского центра:
344000, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина, 1,
тел. 2-738-741, 2-738-322
http://www.donstu.ru/vestnik
http://www.dstu.edu.ru/vestnik

Регистрационное свидетельство ПИ № ФС 77-35012 от 16.01.09

© Издательский центр ДГТУ, 2009

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Лаврентьев А.А., Габрельян Б.В., Никифоров И.Я. Модельный расчет электронно-энергетической структуры алмаза, BN, $BeCN_2$..... 391

Ерусалимский Я.М., Водолазов Н.Н. Нестационарный поток в сети..... 402

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Нейдорф Р.А., Кобак В.Г., Титов Д.В. Сравнительный анализ эффективности вариантов турнирного отбора генетического алгоритма решения однородных распределительных задач..... 410

Тугенгольд А.К., Борисова Л.В., Димитров В.П. Корректировка технологических регулировок на основе нечеткого логического вывода..... 419

Чукарин А.Н., Шамшура С.А. Моделирование вибраций акустической системы стендов при динамических испытаниях..... 427

Радин В.В. Формализация динамических процессов в зернокомбайнах при оптимальном проектировании систем приводов рабочих органов..... 433

Кунаков В.С., Тызыхян В.А. Определение взаимосвязи между силами, действующими на влажный зерновой материал, находящийся в бункере.. 439

Ермольев Ю.И., Лукинов Г.И. Моделирование технологической операции предварительной сепарации зернового вороха..... 448

Каменский Е.Н., Булыгин Ю.И. Исследование технико-экологических и экономических характеристик тепловозных ДВС при использовании топлив качества euro стандарта..... 458

Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э., Лебеденко В.Г. Повышение качества поверхностного слоя деталей при обработке поверхностным пластическим деформированием в гибких гранулированных средах.... 469

Зинченко Ю.А. Оптимизация состава футеровки плавильных печей..... 481

Закалин Е.Н., Русин А.П. Улучшение качества дизельного двигателя с ограниченным теплоотводом 492

Вассель Н.П., Курень С.Г., Вассель С.С., Павлова И.В. Полупроводящие пленки на основе синтезированного методом трехфазных реакций полифосфата галлия..... 497

Попов А.П., Винокуров М.Р. Расчет и экспериментальное исследование параметров образцов ферромагнитного материала..... 504

Базюк Т.Ю Математическое моделирование процессов управления городским пассажирским транспортом..... 512

Чернышев Ю.О., Венцов Н.Н. Минимизация логических функций методом альтернативной адаптации..... 524

Ахвердиев К.С., Лагунова Е.О., Мукутадзе М.А. Гидродинамический расчет радиального подшипника при наличии электромагнитного поля с учетом зависимости вязкости и электропроводимости от температуры..... 529

Демьянов Ал.Ал., Демьянов Ал.Ан., Соседкина О.С. Обеспечение сохранности элементов колесных пар подвижного состава при башмачном торможении..... 537

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Орехова Л.Г. Метафизика страха в искусстве..... 545

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Хащин С.М., Сафронов А.Е., Калугина В.В. Концептуальные особенности и практические аспекты эффективной организации процесса осуществления научно-технических нововведений... 548

Воскобойников С.Г. Социально-экономическая ситуация и реформы начала XIX века на Дону..... 566

Ефременко И.Н. Особенности экономической и валютной интеграции стран Африки..... 575

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 546.2

А.А. ЛАВРЕНТЬЕВ, Б.В. ГАБРЕЛЬЯН, И.Я. НИКИФОРОВ

МОДЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ АЛМАЗА, BN И $BeCN_2$

Исследована электронно-энергетическая структура ряда подобных соединений: алмаза (C), BN и $BeCN_2$. Установлено, что для $BeCN_2$ вершина валентной полосы формируется p-состояниями N, а дно полосы проводимости - s-состояниями Be и C. Оценена ширина запрещенной полосы E_g в $BeCN_2$. Проведено сравнение парциальных и полной плотностей состояний алмаза и BN с рентгеновскими K-спектрами эмиссии и поглощения и рентгеноэлектронными спектрами, а также сравнение соответствующих парциальных плотностей состояний последних с соответствующими плотностями в $BeCN_2$.

Ключевые слова: *электронно-энергетическая структура, метод локального когерентного потенциала, плотности электронных состояний*

Введение. Поиск новых веществ со свойствами, близкими свойствам известных материалов, а также с превосходящими параметрами был всегда важен с точки зрения прикладной науки. Отправной точкой поиска часто служат хорошо изученные и широко применяемые соединения, а новые получаются в результате внесения различных искажений (допирование, вакансии, замещение и т.д.) в их кристаллическую решетку. Теоретическое исследование новых (быть может, еще не синтезированных) соединений должно базироваться на сравнении энергетических структур этих и уже известных подобных соединений.

Алмаз и BN уже давно представляют интерес с точки зрения прикладного применения как сверхтвердые материалы, а также и с точки зрения академического интереса к их электронно-энергетическому строению (ЭЭС). Отметим некоторые из работ, посвященые исследованию ЭЭС. Электронно-энергетическое строение в алмазе исследовалось методами рентгеноэлектронной спектроскопии [1-3], а также рентгеновской эмиссионной [4] и абсорбционной [5] спектроскопии. Так, в одной из последних работ [3] приводится экспериментальное значение 23.0 ± 0.2 эВ ширины валентной полосы в алмазе, которое сравнивается с теоретическим значением ширины в 21.5 ± 0.2 эВ, полученным из функционала локальной плотности. Это различие в 2 эВ объясняется наличием возбужденной дырки и связанными с ней многоэлектронными эффектами.

Соединению BN уделено в литературе и продолжает уделяться также достаточно большое внимание. Это относится к рентгеноспектральным исследованиям его гексагональной модификации [6-8], а также аналогичным исследованиям его кубической модификации [7, 9, 10]. Отметим также лишь некоторые теоретические работы по исследованию электронно-энергетической структуры BN [11-13]. Однако результаты работ [11, 12] не доведены до кривых плотностей состояний (приводятся только зависи-

мости $E(\vec{k})$ и карты зарядовых плотностей) и их трудно сравнивать с соответствующим экспериментом по электронно-энергетическому строению.

Несомненный интерес в последнее время появился к алмазу и BN и с точки зрения допирования их атомами с целью изменения физических свойств. Например, в работе [14] достаточно подробно сделано сравнение теоретических предсказаний уровней энергии в результате допирования с экспериментальными данными в ряде соединений, в том числе и для алмаза.

В настоящей работе исследуется гипотетическое соединение $BeCN_2$, упоминание о котором было обнаружено в работе Джефа и Зангера [15], и его электронно-энергетическая структура (ЭЭС) сравнивается с ЭЭС подобных соединений - алмаза и BN. По мнению авторов работы [15], соединение $BeCN_2$ должно иметь свойства, приближающиеся к свойствам самого алмаза, а ширина запрещенной полосы E_g должна превзойти значение E_g в алмазе (E_g = 5.2 эВ [16]) и быть равным 8.2 эВ. Чтобы рассчитать электронно-энергетическое строение какого-либо соединения, необходимо четко представлять его кристаллическую структуру. Какой она будет для гипотетического соединения можно только предполагать. Наиболее вероятной для $BeCN_2$ является структурный тип халькопирита, что может быть обосновано следующими рассуждениями. Элементарную ячейку структуры алмаза можно рассматривать как две гранецентрированные подрешетки, заполненные атомами углерода, сдвинутые на четверть главной диагонали. При переходе к BN (изоэлектронному аналогу C) одна из подрешеток заполняется атомами бора, другая - атомами азота. Получается структура сфалерита (цинковой обманки). Если теперь подрешетку бора представить как состоящую из двух регулярных подрешеток, одна из которых заполнена атомами Be, а другая - атомами C, то получим структуру халькопирита. Пространственная группа халькопирита $I\bar{4}2d(D_{2d}^{12})$, в его примитивной единичной ячейке имеется 8 атомов. Кристаллическую решетку халькопирита можно считать сверхрешеткой структуры сфалерита с пространственной группой $F\bar{4}3m(T_d^2)$ и двумя атомами на примитивную единичную ячейку. В соединении $BeCN_2$ каждый атом азота координируется двумя атомами бериллия и двумя атомами углерода, а в свою очередь каждый атом Be и каждый атом C координируется четырьмя атомами N. Тетрагональная элементарная ячейка халькопирита определяется тремя кристаллографическими параметрами: постоянными кристаллической решетки a и c (чаще вместо c берется значение $\eta = c/2a$) и параметром u, который характеризует смещение атома N в случае $BeCN_2$ из идеального тетраэдрического положения в структуре сфалерита. Так как экспериментальные значения a, η, u для $BeCN_2$ отсутствуют, то в настоящей работе для их расчета использовалась теория Джефа и Зангера [15]. Теория построена на двух предположениях:

1) длина связи между атомами определяется как сумма их атомных радиусов (в данной работе использовались тетраэдрические радиусы Полинга [17]);

2) предполагается, что углы связи атома углерода с четырьмя ближайшими атомами азота являются такими же, как и в идеальном тетраэдре.

Для $BeCN_2$ получены следующие значения кристаллографических параметров: a = 0.3847 нм; c = 0.67938 нм; η = $c/2a$ = 0.883; u = 0.313.

Именно с этими параметрами производился расчет электронно-энергетической структуры этого соединения.

Метод расчета. Расчеты электронно-энергетической структуры соединения $BeCN_2$ проводились с использованием кластерной версии приближения локального когерентного потенциала [18], основанного на формализме функций Грина в методе многократного рассеяния. Для сравнения с $BeCN_2$ были рассчитаны также кубические модификации алмаза (пространственная группа $Fd3m(O_h^7)$; a = 0.356688 нм [16]) и соединения BN (пространственная группа $F\overline{4}3m(T_d^2)$; a = 0.36155 нм [16]).

Метод расчета плотностей электронных состояний (DOS), предложенный Джиорфи и Стоттом [18], является модификацией метода многократного рассеяния и назван методом локального когерентного потенциала или вторым приближением в схеме средней t-матрицы. Отличительной чертой метода является возможность принимать во внимание искажения кристаллической решетки.

Кристаллический muffin-tin потенциал был рассчитан согласно подходу, представленному в работе Вольфа, Дякина и Широковского для кристаллической решетки с базисом [19]. Обменный член кристаллического потенциала рассчитывался в X_α-приближении. При этом выбирались следующие значения α для атомных сфер различных атомов соединения и в области между сферами: для всех атомов и "пустых" сфер α = 1.0; для области между сферами α = 0.67.

Так как решетки сфалерита и халькопирита не являются плотноупакованными, то для уменьшения объема элементарной ячейки вне атомных сфер, где потенциал имеет постоянное значение, используется стандартный прием – добавление "пустых" сфер с координатами (0.5, 0.5, 0.5) и (0.75, 0.75, 0.75) в единицах постоянной решетки [20]. Эти "пустые" сферы имеют неэквивалентные положения (разные окружения) и должны рассматриваться как отдельные типы, что приводит в результате к значительному возрастанию времени счета при большом кластере. В наших расчетах использовались кластеры, содержащие около 150 атомов (вместе с "пустыми" сферами).

Для определения локальной парциальной DOS каждого типа атома строился отдельный кластер. Например, в соединении BN для атомов B и N, а также пустых сфер O1 и O2, расположенных в тетраэдрических и октаэдрических пустотах кристаллической решетки сфалерита, был сконструирован соответствующий кластер, включающий примерно 150 рассеивателей. Центральный узел был занят (в противоположность методу средней t-матрицы) атомами B, N или пустыми сферами O1 и O2 соответственно.

Плотность электронных состояний атома A-типа определяется выражением:

$$n_\ell^A(E) = \frac{\sqrt{E}}{\pi}\int_0^{r_{WS}} [R_\ell^A(r,E)r]^2 dr \frac{ImTrT_{\ell m}^{A,00}(E)}{Imt_\ell^A(E)},$$

где ℓ - орбитальное квантовое число; $R_{\ell}^{A}(E,r)$ – радиальная часть волновой функции электрона атома A; $T_{\ell m}^{A,00}$ – матричный элемент оператора рассеяния; t_{ℓ}^{A} – одноузельная t – матрица рассеяния для сферически симметричных muffin-tin потенциалов; r_{ws} – радиус атомной сферы, равновеликой ячейке Вигнера-Зейтца.

Полная плотность электронных состояний, приходящаяся на элементарную ячейку, может быть найдена тогда следующим образом (например, для BN):

$$n(E) = \sum_{\ell} n_{\ell}^{B}(E) + \sum_{\ell} n_{\ell}^{N}(E) + \sum_{\ell} n_{\ell}^{O1}(E) + \sum_{\ell} n_{\ell}^{O2}(E).$$

Сходимость метода была описана в деталях в работе [21]. Представленный выше расчетный метод уже применялся нами успешно к тройным халькогенидам со структурой халькопирита [22].

Результаты и их обсуждение. Поскольку для гипотетического соединения $BeCN_2$ нет экспериментальных данных по электронно-энергетической структуре, то результаты проведенных расчетов для $BeCN_2$ сравниваются с выполненными в настоящей работе расчетами кривых плотностей электронных состояний для алмаза и кубического (структура сфалерита) BN. Сравнение рассчитанных плотностей электронных состояний в алмазе (рис.1) и BN (рис.2) с экспериментальными кривыми носит в настоящей работе скорее тестовый характер, хотя для BN были взяты достаточно современные экспериментальные данные. Все рассчитанные кривые плотностей электронных состояний на рис.1,2 совмещались с соответ-

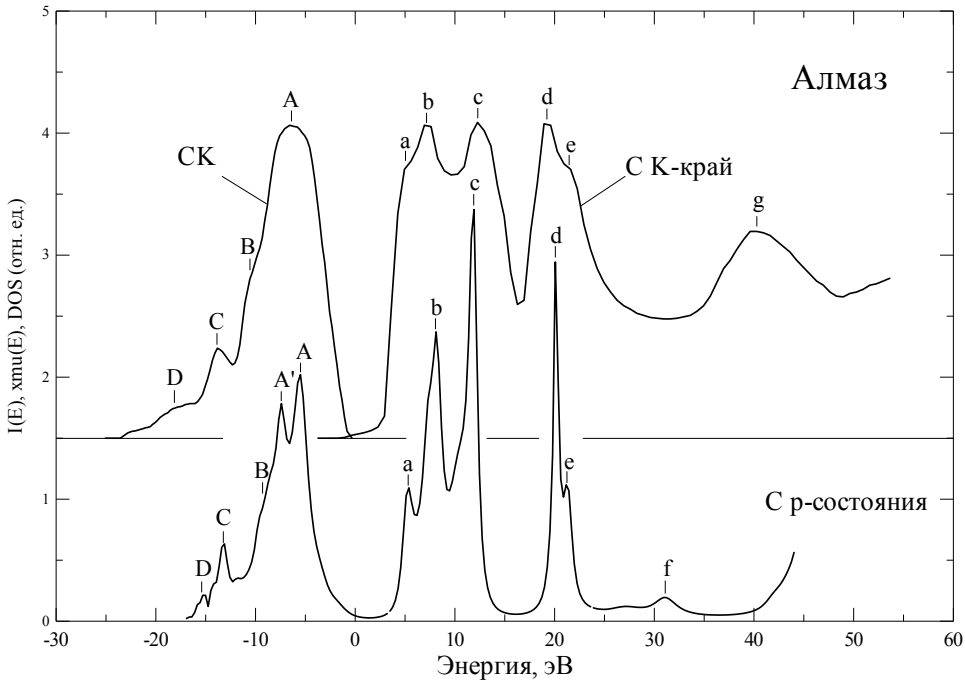


Рис.1. Рассчитанные плотности электронных p-состояний углерода и экспериментальная рентгеновская эмиссионная CK-полоса углерода [4] и CK-край поглощения углерода [5] в алмазе

ствующими экспериментальными кривыми по максимуму A, а на рис.3,4 совмещение теоретических кривых было сделано по середине запрещенной полосы (провал на плотности состояний был идентифицирован с запрещенной полосой E_g исследуемого соединения). Из сделанного сравнения на рис.1 рассчитанной плотности p-состояний углерода с рентгеновскими K-спектрами эмиссии [4] и поглощения [5] углерода, отражающими распределение по энергии вышеуказанных состояний соответственно в валентной полосе и полосе проводимости, следует, что теоретическая кривая весьма хорошо соответствует экспериментальным кривым.

Для бинарного соединения BN плотности электронных p-состояний обоих компонентов соединения, т.е. бора и азота, сравниваются с соответствующими экспериментальными спектрами из [10] на рис.2. Аналогично тому, что получено на рис.1 для алмаза, можно констатировать весьма хорошее соответствие расчета эксперименту. Элементы структуры A, A', B на теоретической кривой N p-плотности состояний совпадают по энергии с аналогичными элементами A, A', B экспериментальной N K-полосы.

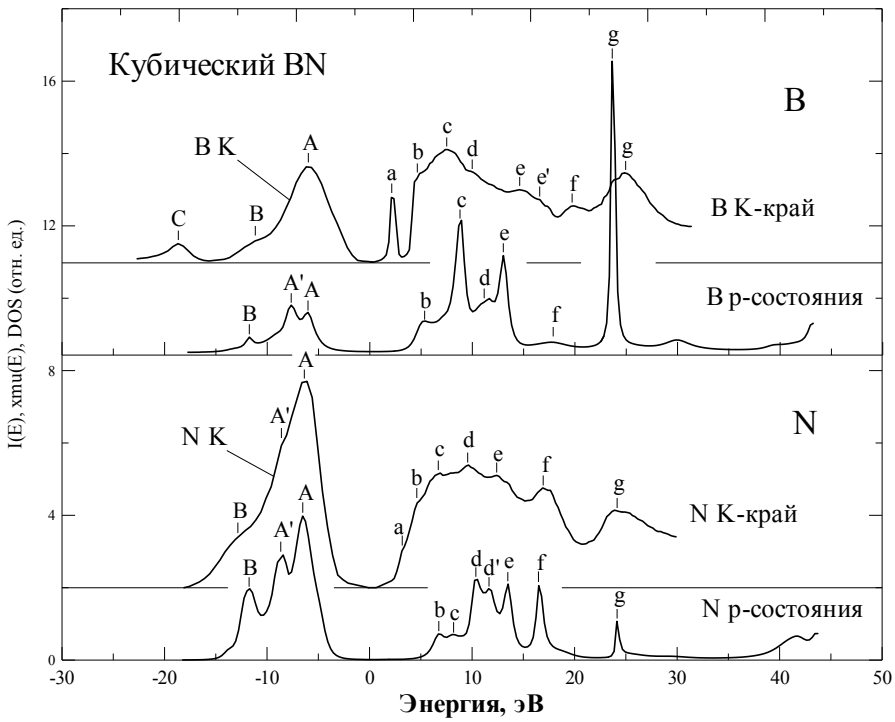


Рис.2. Рассчитанные плотности электронных p-состояний бора и азота и экспериментальные рентгеновские K-спектры эмиссии (BK- и NK- полосы) и поглощения (BK- и NK- края поглощения) бора и азота [10] в кубическом BN (структура сфалерита)

То же самое можно сказать о заполненных p-состояниях бора, для которых теоретический расчет воспроизводит почти всю экспериментальную B K-полосу, за исключением максимума C. Это связано с тем, что данный расчет в большинстве случаев не может отображать все состояния валентной полосы и часть из них остается под muffin-tin нулем, что является, как известно [23], особенностью использования mt-потенциала. Весьма

богатая структура экспериментальных К-спектров поглощения B и N не вся отражена на теоретических кривых, хотя основные детали можно считать полученными. Получение острого пика **a** на ВК-крае, который авторы [10] связывают с рентгеновским экситоном, и вовсе невозможно в настоящем одноэлектронном расчете.

Локальные парциальные плотности электронных состояний в гипотетическом халькопирите $BeCN_2$ приведены на рис. 3 и 4. Здесь они сравниваются с соответствующими плотностями состояний в алмазе и BN. Так, на рис.3 p-состояния углерода в $BeCN_2$ приведены ниже p-состояний углерода в алмазе. Происходит перераспределение интенсивности максимумов в валентной зоне: максимум A уменьшил свою интенсивность, а максимум B наоборот увеличил. Однако не наблюдается катастрофического изменения формы сравниваемых кривых для p-состояний углерода в алмазе и $BeCN_2$.

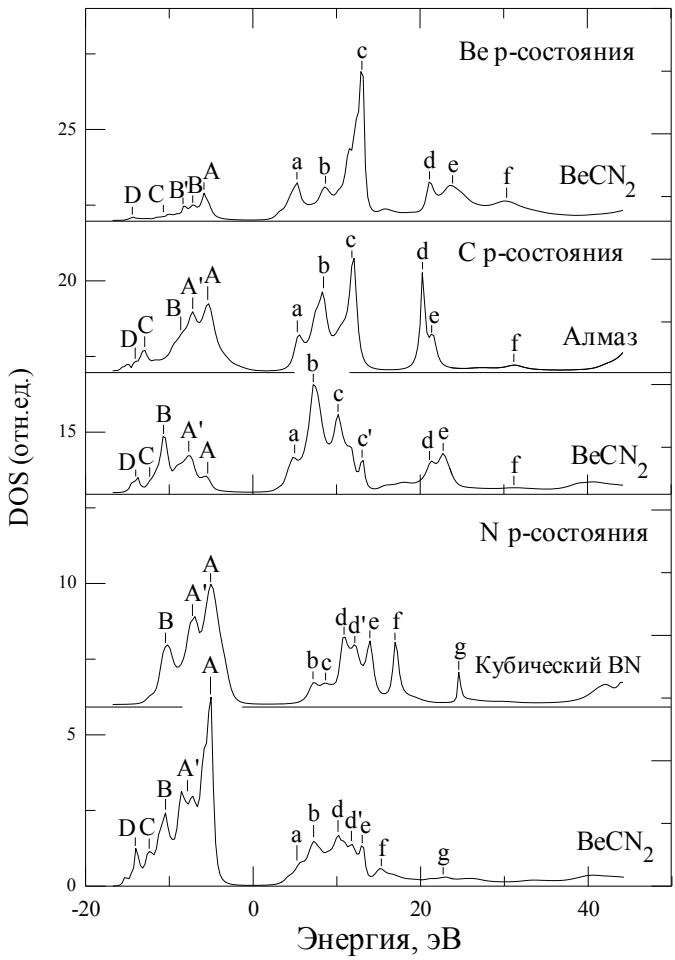


Рис.3. Сравнение рассчитанных плотностей электронных p-состояний в алмазе, кубическом BN (структура сфалерита) и гипотетическом $BeCN_2$ (структура халькопирита)

Еще меньшему изменению подверглись валентные p-состояния N, также приведенные на рис.3, а для свободных N p-состояний характерно

лишь некоторое изменение интенсивностей всех пиков**.** Сравнивать p-состояния Be в $BeCN_2$ можно только с p-состояниями C и N в этом же соединении, что и сделано на рис.3. Занятые p-состояния Be лежат у вершины валентной полосы, а свободные p-состояния Be дают интенсивный пик **c** примерно на 10 эВ выше дна зоны проводимости. В целом же можно констатировать из проведенного сравнения на рис.3, что верхнюю часть валентной полосы в $BeCN_2$ формируют p-состояния N, а p-состояния Be и C примешиваются к этим состояниям. Для дна зоны проводимости $BeCN_2$ характерно наличие p-состояний всех компонентов: Be, C, N, хотя самое дно занимают p-состояния C, далее идут p-состояния Be, а p-состояния N примешиваются к ним.

Для приведенных на рис.4 кривых, отображающих s-состояния всех компонентов в $BeCN_2$, характерно то, что занятые s-состояния Be лежат у вершины валентной полосы, а аналогичные им s-состояния C (очень похо-

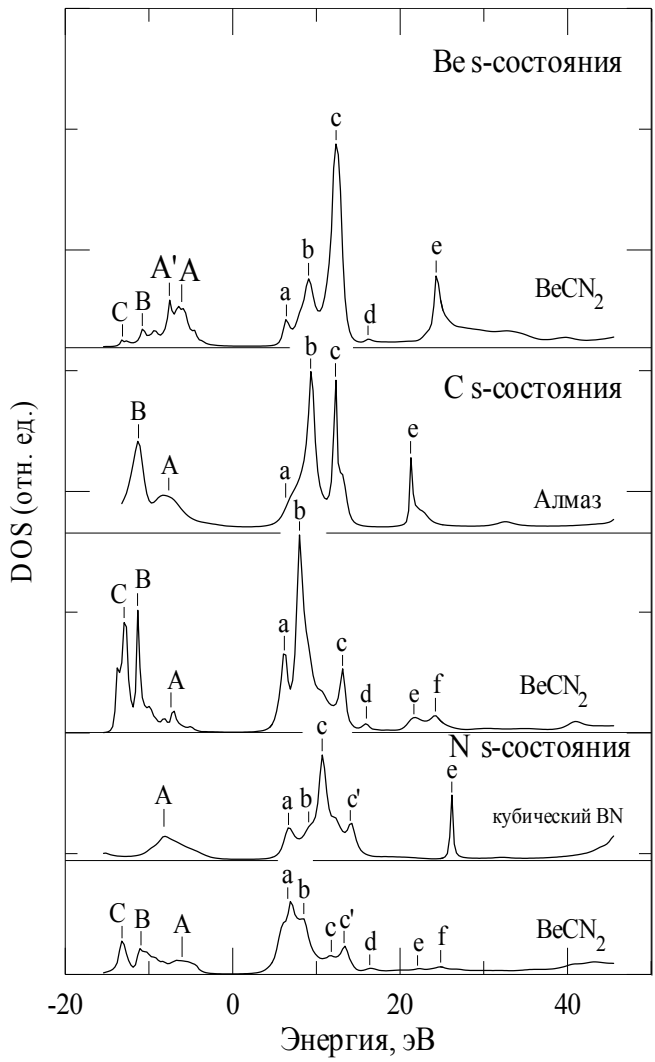


Рис.4. Сравнение рассчитанных плотностей электронных s-состояний в алмазе, кубическом BN (структура сфалерита) и гипотетическом $BeCN_2$ (структура халькопирита)

жи на s-состояния C в алмазе) и s-состояния N (не совпадающие с s-состояниями N в BN) смещены вглубь валентной полосы примерно на 5 эВ. Свободные s-состояния C (очень похожие по форме на s-состояния C в алмазе) и s-состояния Be в $BeCN_2$ расположены у дна зоны проводимости. На это указывает энергетическое положение пиков a и b на кривых C s-состояний и Be s-состояний в $BeCN_2$. На самом дне зоны проводимости находятся s-состояния N. В целом по результатам расчета можно говорить о высокой степени гибридизации как свободных p- и s-состояний, так и занятых p- и s-состояний компонентов в $BeCN_2$.

Весьма важным, на наш взгляд, является сравнение кривых, приведенных на рис.5, где показаны полные плотности состояний в алмазе, BN и $BeCN_2$. Как видно, валентная полоса в $BeCN_2$ шире, чем в BN. Кривая свободных состояний в $BeCN_2$ имеет ряд элементов структуры, которые сближают ее с формой кривой свободных состояний в алмазе (элементы b и c) и в BN (элемент c"). Во всех трех случаях (см.рис.5) имеется область энергий, где плотность спадает до нуля, и эта область, несомненно, представляет оптическую запрещенную полосу E_g в этих полупроводниках. Для алмаза и BN это подтверждается сравнением с экспериментальными данными на рис.1 и 2, где рентгеновские эмиссионные и абсорбционные спектры достаточно хорошо совпали по основным элементам структуры с рассчитанными здесь теоретическими плотностями состояний и тем самым позволили четко определить область запрещенных энергий или так называемую

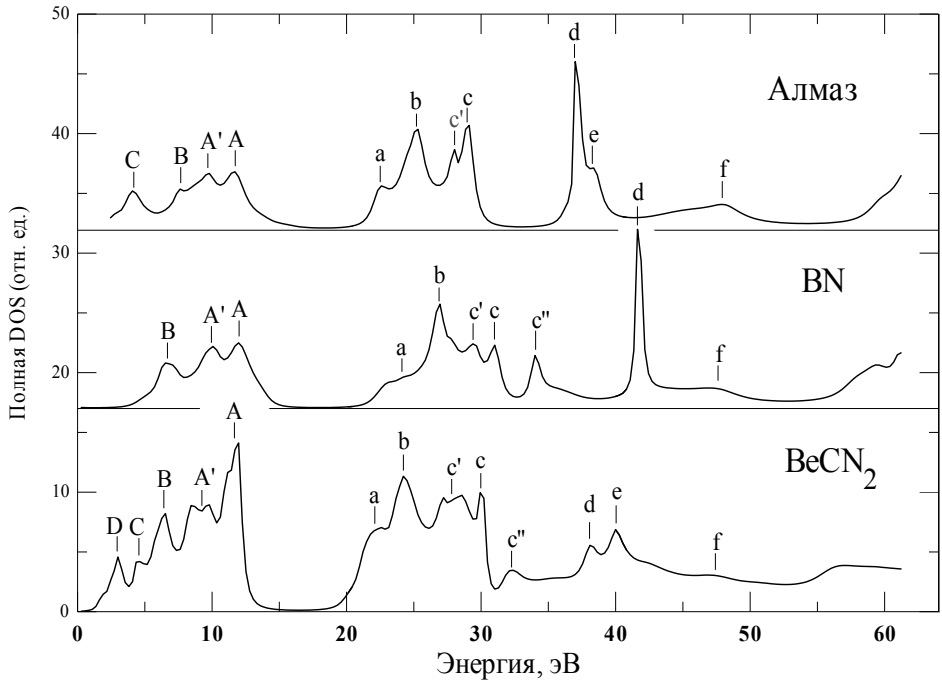


Рис.5. Рассчитанные полные плотности электронных состояний в алмазе, кубическом BN (структура сфалерита) и гипотетическом $BeCN_2$ (структура халькопирита)

оптическую запрещенную полосу E_g на теоретической кривой. Оценка ширины запрещенной полосы ΔE проведена для всех исследованных полупроводников и сравнивается с литературными E_g в таблице.

Кристаллографические параметры, ширины оптических запрещенных полос E_g и оценочные значения ΔE для исследованных полупроводников

	a, нм	*c, нм*	*E_g, эВ*	*ΔE, эВ*
Алмаз	0.356688 [16]	-	5.2 [16]	6.0 ± 0.5
BN	0.36155 [16]	-	6.0 ± 0.5 [16] $\geq 6.4 \pm 0.5$ [16]	6.5 ± 0.5
$BeCN_2$	0.3847	0.67938	-	8.2 [15] 6.0 ± 0.5

Оценочные значения получились несколько завышенными по сравнению с литературными, хотя сами литературные данные имеют значительный разброс. Отметим, что полученное нами значение $E_g = 6.0 \pm 0.5$ эВ в $BeCN_2$ отличается от предсказанного в работе [15] значения в 8.2 эВ на 2.2 эВ, что уже нельзя просто связать с неточностью метода определения.

Выводы. Проведенные расчеты показывают качественное подобие электронно-энергетической структуры (ЭЭС) гипотетического тройного соединения $BeCN_2$ его изоэлектронным и изоструктурным аналогам – алмазу и BN.

Основные особенности кривых плотности электронных p-состояний N в BN и в $BeCN_2$ достаточно хорошо соответствуют друг другу. Форма валентных p-состояний N в $BeCN_2$ практически не отличается от формы аналогичных состояний в BN. В то же время форма кривой в области свободных p-состояний N в $BeCN_2$ претерпевает существенные изменения по сравнению с BN.

В отличие от p-состояний кривые плотности s-состояний N в $BeCN_2$ претерпевают качественные изменения по отношению к BN. Происходит перераспределение плотности как занятых, так и свободных s-состояний N в $BeCN_2$ по сравнению с BN. Подобным же образом наблюдаются качественные отличия в форме кривых p-состояний C в алмазе и $BeCN_2$, тогда как форма кривых их s-состояний очень похожа.

Расчеты показали подобие формы кривых p-состояний Be в $BeCN_2$ p-состояниям C в алмазе и подобие формы кривых s-состояний Be s-состояниям N в кубическом BN.

Библиографический список

1. Cavell R.G., Kowalczyk S.P., Ley L., Pollak R.A., Mills B., Shirley D.A., Perry W. // Phys.Rev.B. – 1973. – V.7. – № 12. – P. 5313-5316.

2. McFeely F.R., Kowalczyk S.P., Ley L., Cavell R.G., Pollak R.A., Shirley D.A. // Phys.Rev.B. – 1974. – V.9. – № 12. – P. 5268.

3. Jimenez I., Terminello L.J., Sutherland D.G.J., Carlisle J.A., Shirley E.L., Himpsel F.J. // Phys.Rev.B. – 1997. – V.56. – № 12. – P. 7215-7221.

4. Wiech G., Zöpf E. Electronic Density of States. Ed. H. Bennett. National Bureau of Standards. Special Publication 323. – Washington, 1971. – 335 p.

5. Jaoneu M., Rehr J.J., Ravel B. // J.Phys.IV France. – 1997. – V.7. – P. C2-265-C2-266.

6. Фомичев В.А. // Известия АН СССР. Сер. физическая. – 1967. – Т.XXXI. – № 6. – С. 957-964.

7. Muramatsu Y., Kouzuki H., Motoyama M., Agui A., Shin S., Kawai J., Kato H., Oshima M. // Photon Factory Activity Rep. – 1994. – P.1995.

8. Filatova E., Pavlychev A.A., Blessing C., Friedrich J. // Physica B. – 1995. – V.208-209. – P. 417-418.

9. Немошкаленко В.В., Алешин В.Г. // Физ. тверд. тела. – 1970. – Т.12. – № 1. – С. 59-62.

10. Agui A., Shin M., Fujisawa M., Tezuka Y., Ishii T., Muramatsu Y., Mishima O., Era K. // Phys.Rev.B. – 1997. – V.55. – № 4. – P. 2073-2078.

11. Zunger A., Freeman A.J. // Phys.Rev.B. – 1978. – V.17. – № 4. – P. 2030-2041.

12. Wentzcovitch R.M., Cohen M.L., Lam P.K. // Phys.Rev.B. – 1987. – V.36. – № 11. – P. 6058-6067.

13. Илясов В.В., Сафонцева Н.Ю., Никифоров И.Я. // Физ. тверд. тела. – 1994. – Т.36. – № 2. – С. 451-459.

14. Katayama-Yoshida H., Nishimatsu T., Yamamoto T., Orita N. // Phys.status solidi (b). –1998. – V.210. – № 2. – P. 429-436.

15. Jaffe J.E., Zunger A. // Phys.Rev.B. – 1984. – V.29. – № 4. – P. 1822-1906.

16. Физико-химические свойства полупроводниклвых веществ: справочник под ред. А.В. Новоселовой и В.Б. Лазарева. – М.: Наука, 1979. – 340 с.

17. Кребс Г. Основы кристаллохимии неорганических соединений. / Г.Кребс. – М.: Мир, 1971. – 304 с.

18. Gyorffy B.L., Stott M.J. // Band structure spectroscopy of metals and alloys. Ed. by Fabian D. London; New York. – 1973. – P. 385-403.

19. Вольф Г.В., Дякин В.В., Широковский В.П. // ФММ. – 1974. – V.38. – № 6. – С. 949-956.

20. Kisel A., Dalba G., Fornasini P., Podgórny M., Oleszkiewicz J., Rocca F., Burattini E. // Phys. Rev. B. – 1989. – V.39. – № 11. – P. 7895-7904.

21. Nikiforov I.Ya., Kolpachev A.V. // Phys.stat.sol.(b). – 1988. – V.148. – № 2. – P. 205-211.

22. Лаврентьев А.А., Габрельян Б.В., Никифоров И.Я. // Журнал структурной химии. – 1998. – Т.39. – № 6. – С. 1076-1082.

23. Займан Дж. Вычисление блоховских функций. / Дж. Займан. – М.: Мир, 1973. – 159 с.

Материал поступил в редакцию 3.04.09.

A.A. LAVRENTYEV, B.V. GABRELIAN, I.Ya. NIKIFOROV

MODEL CALCULATION OF THE ELECTRON ENERGY STUCTURE OF DIAMOND, BN AND $BeCN_2$

The electronic energy structure of the row of similar compounds: diamond (C), BN, and $BeCN_2$ has been investigated. It was found for $BeCN_2$ that the top of the valence band is formed by p-states of N, whereas the bottom of the conduction band - by s-states of Be and C. The width of the energy forbidden band E_g in $BeCN_2$ – was estimated. The comparison of the calculated partial and total electron densities of states of diamond and BN with x-ray *K*-spectra of emission and absorption and with x-ray electron spectra was carried out. The corresponding partial electron states of diamond and BN were also compared with corresponding densities of states of $BeCN_2$.

ЛАВРЕНТЬЕВ Анатолий Александрович (р. 1952), заведующий кафедрой "Электротехника и электроника" ДГТУ, доктор физико-математических наук (2001), профессор (2003). Окончил физический факультет РГУ (1974).
Область научных интересов: моделирование электронно-энергетической структуры сложных полупроводниковых соединений и металлических сплавов, имитационное моделирование в методах неразрушающего контроля.
Автор более 150 научных публикаций.

ГАБРЕЛЬЯН Борис Витальевич (р. 1963), доцент кафедры ПОВТ и АС ДГТУ, кандидат физико-математических наук (1999). Окончил физический факультет РГУ (1985).
Область научных интересов: методы расчета электронной энергетической структуры полупроводниковых кристаллических и малоразмерных систем, перспективных для преобразователей солнечной энергии.
Автор около 90 научных публикаций.

НИКИФОРОВ Игорь Яковлевич (р. 1930), профессор кафедры "Физика" ДГТУ, доктор физико-математических наук (1985). Окончил физико-математический факультет РГУ (1954).
Область научных интересов: рентгеновская и электронная спектроскопия, квантовая теория твердого тела.
Автор более 200 научных публикаций.

alavrentyev@dstu.edu.ru

УДК 519.1

Я.М. ЕРУСАЛИМСКИЙ, Н.Н. ВОДОЛАЗОВ

НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ПОТОК В СЕТИ

В представленной работе рассматривается нестационарный поток в сети. Даны определения нестационарного потока, величины потока за время T, средней величины потока. Найдено ограничение на среднюю величину потока.
Ключевые слова: *граф, стационарный поток, нестационарный поток, величина потока.*

Введение. В работах [1, 2] рассмотрены задачи нахождения максимального потока на динамических периодических графах. Для обыкновенных ориентированных графов вводится дискретное время T, и рассматриваются динамические графы. Динамическим графом в [1] называется ориентированный граф вида $G(X,U,f,\tau)$, множество дуг которого представляет собой объединение двух непустых непересекающихся подмножеств, называемых множеством обычных и множеством временных дуг, τ – функция активности. Временные дуги графа доступны для прохождения не в любой момент времени, а только в периоды активности.

В данной статье рассматриваются нестационарный поток на графе, который представляет собой обобщение динамических графов, и ограничения на величину максимального нестационарного потока. Приведен пример, который показывает, что величина нестационарного потока может в некоторые моменты времени превосходить величину максимального стационарного потока.

Постановка задачи. Пусть дан граф $G(V,E,\varphi)$, где V – множество вершин; E – множество дуг; $\phi: E \to V \times V$. Обозначим $\Theta_{-}(\upsilon)$ – множество дуг, входящих в вершину υ; $\Theta_{+}(\upsilon)$ – множество дуг, выходящих из вершины υ. Пропускная способность каждой дуги $c(e)$.

Определение 1. Стационарным потоком на графе $G(V,E,\varphi)$ называется отображение $f: E \to R^{+}$, удовлетворяющее условиям [3]:

$$\begin{cases} \sum\limits_{e\in\Theta_{-}(\upsilon)} f(e) = \sum\limits_{e\in\Theta_{+}(\upsilon)} f(e), \quad \forall \upsilon \in V, \upsilon \neq s, \upsilon \neq r, \\ 0 \le f(e) \le c(e), \quad \forall e \in E, \end{cases} \tag{1}$$

где s – источник; r – сток.

В нестационарном потоке добавляется дискретное время $t \in Z^{+}$. Считаем, что суммарный поток, выходящий из вершины в момент времени $t+1$, равен суммарному потоку, входящему в вершину в момент времени t.

Дадим определения нестационарного потока и величины нестационарного потока за время T.

Определение 2. Нестационарным потоком назовем отображение $f: E \times Z^+ \to R^+$, удовлетворяющее условиям:

$$\begin{cases} \sum\limits_{e \in \Theta_-(\upsilon)} f(e,t) = \sum\limits_{e \in \Theta_+(\upsilon)} f(e,t+1), \quad \forall \upsilon \in V, \upsilon \neq s, \upsilon \neq r, \quad \forall t \in Z^+ \\ 0 \le f(e,t) \le c(e), \quad \forall e \in E, \quad \forall t \in Z^+, \end{cases} \tag{2}$$

где s – источник; r – сток; t – время.

Определение 3. Величиной потока f за время T назовем величину $V(f,T) = \sum\limits_{t=0}^{T} \sum\limits_{e \in \Theta_-(r)} f(e,t)$.

Ограничение на величину нестационарного потока. Возьмем произвольное $T \in N$. Покажем, что по нестационарному потоку f величины $V(f,T)$ можно построить стационарный поток f_2 величины $\frac{V(f,T)}{T}$. Сначала по нестационарному потоку f построим нестационарный поток f_1, имеющий ту же величину потока за время T и равный нулю в момент времени T. Затем по нестационарному потоку f_1 построим стационарный поток f_2, имеющий величину $\frac{V(f_1,T)}{T}$.

Рассмотрим любой нестационарный поток до момента T. Он удовлетворяет следующим условиям:

$$\begin{aligned} &t = T && \sum_{e \in \Theta_-(\upsilon)} f(e,T) = \sum_{e \in \Theta_+(\upsilon)} f(e,T+1), && \forall \upsilon \in V, \upsilon \neq s, \upsilon \neq r, \\ &t = T-1 && \sum_{e \in \Theta_-(\upsilon)} f(e,T-1) = \sum_{e \in \Theta_+(\upsilon)} f(e,T), && \forall \upsilon \in V, \upsilon \neq s, \upsilon \neq r, \\ &\cdots\cdots && \cdots\cdots && \cdots\cdots \\ &t = 1 && \sum_{e \in \Theta_-(\upsilon)} f(e,1) = \sum_{e \in \Theta_+(\upsilon)} f(e,2), && \forall \upsilon \in V, \upsilon \neq s, \upsilon \neq r, \\ &t = 0 && 0 = \sum_{e \in \Theta_+(\upsilon)} f(e,1), && \forall \upsilon \in V, \upsilon \neq s, \upsilon \neq r. \end{aligned} \tag{3}$$

Вытекающий поток представлен в (3) $f(e,t)$, $e \in \Theta_-(r)$, поэтому величин $f(e,T)$, $e \in \Theta_-(r)$ нет в системе равенств (3) для $t = T$ (вытекающий на шаге $T-1$ поток не втекает ни в одну вершину на шаге T). Положим $f_1(e,T) = f(e,T)$, $e \in \Theta_-(r)$, $f_1(e,T) = 0$, $e \notin \Theta_-(r)$.

Далее рассмотрим равенства при $t = T-1$.

$$\sum_{e \in \Theta_-(\upsilon)} f_1(e,T-1) = \sum_{e \in \Theta_+(\upsilon)} f_1(e,T), \quad \forall \upsilon \in V, \upsilon \neq s, \upsilon \neq r. \tag{4}$$

Нам нужно найти $f_1(e,T-1)$. Если вместо $f(e,T)$ в правую часть равенств (3) подставить $f_1(e,T)$, то получим неравенства:

$$\sum_{e\in\Theta_-(\upsilon)} f(e,T-1) \geq \sum_{e\in\Theta_+(\upsilon)} f_1(e,T)\ ,\ \forall \upsilon \in V, \upsilon \neq s, \upsilon \neq r\ . \quad (5)$$

Величин $f_1(e,T-1)$, $e\in\Theta_-(r)$ нет в левой части (4), поэтому мы можем присвоить им любые значения без нарушения (4). Положим $f_1(e,T-1)=f(e,T-1)$, $e\in\Theta_-(r)$.

Все $f_1(e,T-1)$, входящие в равенства для вершин $\upsilon\in V$: $\sum_{e\in\Theta_+(\upsilon)} f_1(e,T)=0$, положим равными 0.

Если $f_1(e,T-1)$ входит в равенства для вершин $\upsilon\in V$: $\sum_{e\in\Theta_+(\upsilon)} f_1(e,T)\neq 0$, то $0<\sum_{e\in\Theta_+(\upsilon)} f_1(e,T)\leq \sum_{e\in\Theta_+(\upsilon)} f(e,T)=\sum_{e\in\Theta_-(\upsilon)} f(e,T-1)$.

Тогда положим $K(\upsilon)=\dfrac{\sum_{e\in\Theta_+(\upsilon)} f_1(e,T)}{\sum_{e\in\Theta_-(\upsilon)} f(e,T-1)}$.

Из (5) следует $K(\upsilon)\leq 1$. Так как $f_1(e,T)\geq 0$ и $f(e,T-1)\geq 0$, следовательно, $K(\upsilon)\geq 0$. Тогда положим $f_1(e,T-1)=K(\upsilon)f(e,T-1)$. Так как $K(\upsilon)\leq 1$, то из $0\leq f(e,T-1)\leq c(e)$ следует, что $0\leq f_1(e,T-1)\leq c(e)$.

Из построения ясно, что для $f_1(e,T-1)$ выполнены равенства (4).

Аналогичным образом построим поток в моменты времени $t=T-2$, $t=T-3$,...,$t=0$, который удовлетворяет условию $f_1(e,T+1)=0$, $\forall e\in E$. На каждом шаге значение $f(e,t)$, $e\in\Theta_-(r)$ не изменялось, следовательно, величина потока f_1 равна величине потока f, $V(f,T)=V(f_1,T)$.

При этом f_1 удовлетворяет системе равенств:

$$\begin{aligned}
&t=T && \sum_{e\in\Theta_-(\upsilon)} f_1(e,T)=0, && \forall \upsilon\in V,\upsilon\neq s,\upsilon\neq p,\\
&t=T-1 && \sum_{e\in\Theta_-(\upsilon)} f_1(e,T-1)=\sum_{e\in\Theta_+(\upsilon)} f_1(e,T), && \forall \upsilon\in V,\upsilon\neq s,\upsilon\neq p,\\
&\cdots\cdots && \cdots\cdots && \cdots\cdots \quad (6)\\
&t=1 && \sum_{e\in\Theta_-(\upsilon)} f_1(e,1)=\sum_{e\in\Theta_+(\upsilon)} f_1(e,2), && \forall \upsilon\in V,\upsilon\neq s,\upsilon\neq p,\\
&t=0 && 0=\sum_{e\in\Theta_+(\upsilon)} f_1(e,1), && \forall \upsilon\in V,\upsilon\neq s,\upsilon\neq p.
\end{aligned}$$

Просуммируем равенства (6) по T и разделим на T. Получим поток $f_2(e) = \frac{\sum_{t=0}^{T} f_1(e,t)}{T}$, $\forall e \in E$, удовлетворяющий ограничениям, накладываемым на стационарный поток, т.е. поток f_2 удовлетворяет системе равенств (1) и ограничениям $0 \le f_2(e) \le c(e)$.

Итак, величина стационарного потока равна величине потока f_1 за время T и величине потока f за время T. Таким образом, для любого нестационарного потока f, имеющего величину $V(f,T)$ за время T, можно построить стационарный поток величины $V_{стац} = \frac{V(f,T)}{T}$.

Пусть величина максимального стационарного потока $V_{\max}$, тогда $V_{\max} \ge \frac{V(f,T)}{T}$.

Определение 4. Назовем $\frac{V(f,T)}{T}$ – средней величиной нестационарного потока f за время T.

Таким образом, мы доказали теорему:

Теорема 1. Средняя величина нестационарного потока f в сети G за время T не может превосходить величины максимального стационарного потока.

$$\frac{V(f,T)}{T} \le V_{\max}.$$

Построим пример.

Пример 1. Пусть дан граф (рис.1). Пропускная способность всех дуг равна 1.

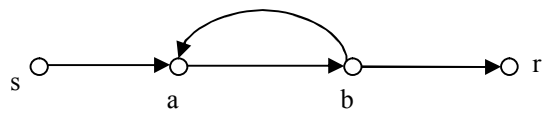


Рис.1. Пример графа

Рассмотрим граф до момента времени, равного 5. Построим вспомогательный граф (рис.2) по следующим правилам:

- каждой вершине исходного графа $v \in V$ поставим в соответствие T вершин $v_1, v_2, ..., v_T$;

- каждой дуге исходного графа (u,v) поставим в соответствие $T-1$ дугу вида (u_i, v_{i+1}), $i = 1,...,T-1$;

- пропускную способность каждой дуги (u_i, v_{i+1}) положим равной пропускной способности дуги (u,v) исходного графа.

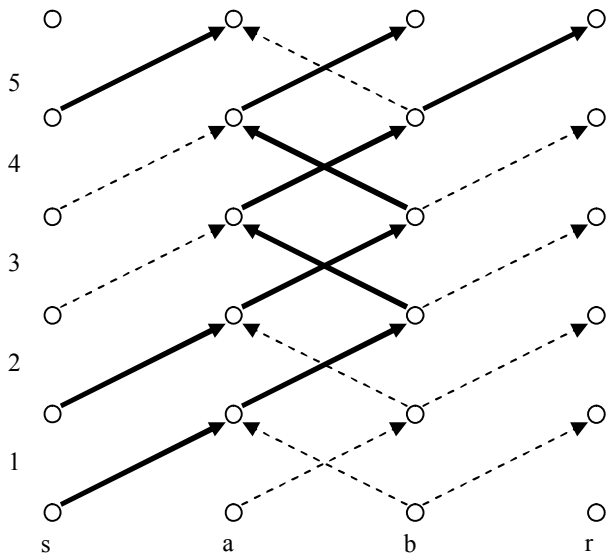


Рис.2. Исходный поток на вспомогательном графе:

- - - - ▶ - ненагруженные дуги;

——▶ - насыщенные дуги

Из рис.2 видно, что поток за 5 шагов равен 1.

Построим новый поток f_1 таким образом, чтобы в момент времени 5 весь поток, за исключением выходящего в сток, обращался в 0.

Положим $f_1((b,p),5) = f((b,p),5) = 1$, $f_1((a,b),5) = 0$, $f_1((s,a),5) = 0$, $f_1((b,a),5) = 0$.

В момент времени 4 в вершине a должно выполняться соотношение

$$f_1((b,a),4) + f_1((s,a),4) = f_1((a,b),5) = 0.$$

Положим $f_1((b,a),4) = 0$, $f_1((s,a),4) = 0$. В вершине b выполняется равенство

$$f_1((a,b),4) = f_1((b,a),5) + f_1((b,p),5) = 0 + 1 = 1.$$

Получаем $f_1((a,b),4) = 1$.

В момент времени 3 в вершине b должно выполняться соотношение:

$$f_1((a,b),3) = f_1((b,a),4) + f_1((b,p),4) = 0.$$

Положим $f_1((a,b),3) = 0$. В вершине a выполнено соотношение

$$f_1((b,a),3) + f_1((s,a),4) = f_1((a,b),4) = 1.$$

Пусть $K(a) = \dfrac{f_1((b,a),4) + f_1((b,p),4)}{f((a,b),3)} = \dfrac{1+0}{1} = 1$,

отсюда

$$f_1((b,a),3) = K(a) f((b,a),3) = 1;$$

$$f_1((s,a),3) = K(a) f((s,a),3) = 0 .$$

Аналогично получаем $f_1((s,a),2) = 0$.

Поток f_1 по остальным дугам положим равным f. Тогда поток f_1 (рис.3) удовлетворяет ограничениям, накладываемым на поток, и в момент времени 5 весь поток, за исключением выходящего в сток, обращается в 0.

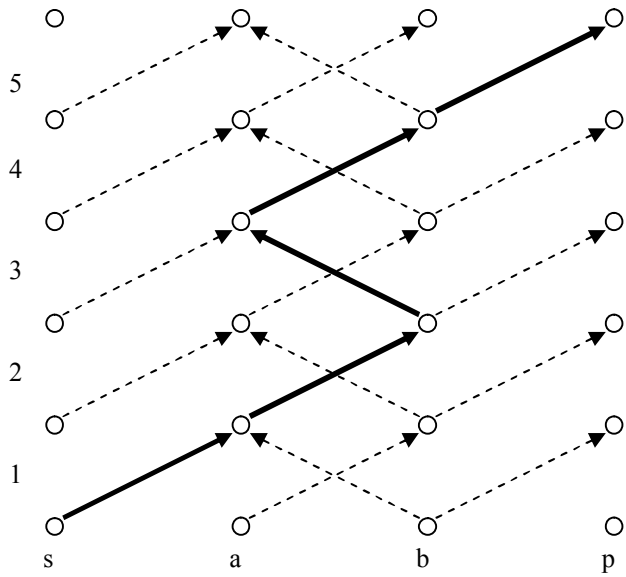


Рис.3. Поток f_1 на вспомогательном графе

Так как поток f_1 по выходящим дугам равен потоку f, то величина $V(f_1,5) = V(f,5) = 1$.

Далее сложим поток по каждой дуге для моментов времени от 1 до 5 и поделим на 5, получим стационарный поток $f_2(u) = \frac{1}{5}$, $\forall u \in U$.

Тогда величина потока $f_2 = \frac{1}{5} = \frac{V(f_1,5)}{5} = \frac{V(f,T)}{5}$.

Расширенный нестационарный поток. Обобщим задачу, будем считать, что не весь поток должен выходить из вершины на каждом шаге. Тогда поток будет определен на дугах и в вершинах $f : (V \cup E) \times Z^+ \to R^+$. Условия (2) заменим на следующие:

$$\begin{cases} f(v,t) + \sum\limits_{e \in \Theta_-(\upsilon)} f(e,t) = f(v,t+1) + \sum\limits_{e \in \Theta_+(\upsilon)} f(e,t+1), \quad \forall \upsilon \in V, \upsilon \neq s, \upsilon \neq r, \quad \forall t \in Z^+ \\ 0 \le f(e,t) \le c(e), \quad \forall e \in E, \quad \forall t \in Z^+. \end{cases} \quad (7)$$

Дадим определение расширенного нестационарного потока.

Определение 5. Назовем отображение $f:(V\cup E)\times Z^{+}\to R^{+}$ расширенным нестационарным потоком, если для него выполнены условия (7).

Задачу о нахождении ограничения на максимальный расширенный нестационарный поток можно свести к уже рассмотренной ранее, добавив к графу для каждой вершины v дугу (v,v) неограниченной пропускной способности. Тогда величины всех разрезов не изменятся, и доказанное выше ограничение (теорема 1) на максимальный поток останется в силе.

Таким образом, мы доказали теорему:

Теорема 2. Средняя величина расширенного нестационарного потока f в сети G за время T не может превосходить величины максимального стационарного потока.

Пример 2. Отметим, что в некоторые моменты времени поток на графе может превосходить величину максимального нестационарного потока. Рассмотрим пример графа (рис.4).

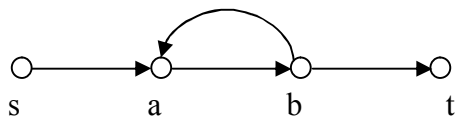


Рис. 4. Поток, превышающий пропускную способность:
s – источник; t – сток

Пусть пропускная способность дуги (s,a) равна 1, пропускная способность остальных дуг равна 2. Тогда возможен следующий поток (таблица).

Поток на графе в моменты времени от 0 до 4

Момент времени	Дуги			
	(s,a)	(a,b)	(b,a)	(b,t)
0	1	0	0	0
1	1	1	0	0
2	1	1	1	0
3	1	2	1	0
4	1	2	0	2

Из таблицы видно, что втекающий в сток поток в момент времени 4 равен 2, при том что величина максимального стационарного потока равна 1.

Выводы. Доказана теорема о том, что средняя величина нестационарного потока не может превышать величины стационарного потока. Однако из построенного примера ясно, что нестационарный поток в определенные моменты времени может превосходить максимальную величину стационарного потока.

Библиографический список

1. Ерусалимский Я.М. Динамические периодические графы. / Я.М. Ерусалимский, М.В. Кузьминова. // Математическое моделирование и биомеханика в современном университете: тр. III-й всероссийской школы-семинара. – Ростов н/Д: Терра Принт, 2007. – С. 39-40.

2. Кузьминова М.В. Динамические периодические графы. Задача о максимальном потоке. / М.В. Кузьминова. // Сборник материалов докладов 5-й всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь XXI века – будущее российской науки». В 2 т. – Т.1. – Ростов н/Д: Изд-во ООО «ЦВВР», 2007. – С. 99-100.

3. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход; пер. с англ. / Н. Кристофидес. – М.: Наука, 1978. – 432 с.

Материал поступил в редакцию 2.06.09.

Y.M. ERUSALIMSKY, N.N. VODOLAZOV

NON-STATIONARY NETWORK FLOW

Non-stationary network flow is considered. Definitions of non-stationary network flow, amount of flow in T time, average amount of flow are given. Limitation on the average amount of flow is found.

ЕРУСАЛИМСКИЙ Яков Михайлович (р. 1947), кандидат физико-математических наук, профессор кафедры алгебры и дискретной математики Южного федерального университета. Окончил механико-математический факультет РГУ (1970).
Сфера научных интересов: операторы мультипликативной дискретной свертки, теория графов и её приложения.
Имеет 87 научных публикаций.

ВОДОЛАЗОВ Николай Николаевич (р. 1984), аспирант второго года обучения факультета математики, механики и компьютерных наук Южного федерального университета. Окончил магистратуру ЮФУ (2007).
Научные интересы: теория графов и ее приложения.
Имеет 3 научных публикации.

Nickolay_Vodolazov@rambler.ru

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 681.3.681.5

Р.А. НЕЙДОРФ, В.Г. КОБАК, Д.В. ТИТОВ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ТУРНИРНОГО ОТБОРА ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ОДНОРОДНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ

В данной работе дана оценка турнирного отбора, применяемого в генетическом алгоритме для однородных систем обработки информации, путем сравнения стандартной схемы турнирного отбора с её модификациями при помощи вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: *теория расписаний, задача планирования, генетический алгоритм, турнирный отбор, вычислительный эксперимент, вектор загрузки.*

Введение. В настоящее время для решения задач из различных областей науки и производства интенсивней стали применяться многопроцессорные вычислительные системы обработки данных, которые резко увеличивают скорость нахождения результатов. Но для эффективного выполнения множества независимых задач, имеющих конкретные временные характеристики, на данных системах необходимо оптимально спланировать распределение заданий по процессорам. Для этого применяют различные алгоритмы распределения задач по параллельно работающим устройствам. При этом в зависимости от алгоритма они могут возвращать как оптимальные решения (точные), так и близкие к оптимальным (списочные, эволюционные). В случаях, когда необходимо достаточно быстро получить результаты, а при этом допускается решение близкое к оптимальному, применяют приближенные алгоритмы. Это обусловлено большими вычислительными и временными затратами применения точных алгоритмов, а при решении задач большой размерности получение точного решения крайне проблематично.

Постановка задачи. Пусть вычислительная система состоит из *n* идентичных параллельных процессоров $P = \{p_1, \ldots, p_n\}$. Множество независимых заданий $Q = \{q_1, \ldots, q_m\}$ образует параллельную программу, причем известно время выполнения *j*-го задания t_j на любом из процессоров вычислительной системы, где $j = \overline{1, m}$. Требуется найти такое распределение заданий по процессорам, при котором время завершения $T_{\max}$ параллельной программы минимально, т.е.

$$T_{\max} = \max_{1 \le i \le n} \{T_i\} \to \min , \qquad (1)$$

где $T_i = \sum_{t_j \in Q_i} t_j$ – загрузка *i*-го процессора (время окончания выполнения множества заданий $Q_i \subseteq Q$, назначенных на процессор p_i, где $i = \overline{1, n}$).

С увеличением числа заданий и количества используемых приборов сложность построения оптимальных расписаний экспоненциально возрастает. Поэтому большое значение имеют простые в построении и удобные в реализации приближенные расписания параллельных вычислительных процессов, близкие к оптимальным распределениям с точки зрения обеспечиваемого времени выполнения параллельных программ [1].

Генетические алгоритмы. Генетические алгоритмы (ГА) относятся к эвристическим методам и представляют собой алгоритмы поиска лучшего решения, а не оптимального, используя при этом принципы, сходные с принципами естественного отбора и генетики.

Генетические алгоритмы имеют вероятностную природу, поэтому полученные результаты отличаются друг от друга при каждом запуске алгоритма и определяются случайной последовательностью, переданной в схему алгоритма. Точность алгоритма зависит не только от входной последовательности случайных чисел, но и от условий задачи, таких как размерность задачи и конкретное распределение весов.

Общая схема работы генетического алгоритма следующая:

Ш.1 Формирование начального поколения, состоящего из заданного числа особей.

Ш.2 Отбор особей и применение операторов кроссовера и мутации ГА с заданной вероятностью, формирование нового поколения.

Ш.3 Проверка условия останова, если не выполнилось, то переход на Ш.2.

Ш.4 Лучшая особь выбирается как найденное решение.

Такая схема является наиболее общим алгоритмом для решения разнотипных задач. В данном случае решения задачи теории расписания минимаксный критерий будет являться оптимизационной функцией, а условием останова будет неизменность лучшего решения в течение заданного числа поколений. При отборе родительских пар для оператора кроссовера берется текущая особь и случайно выбранная из исходного вектора особей. Для формирования нового поколения используется турнирный отбор, при котором из заданного числа особей (в данном случаи две особи) выбирается лучшая, которая перейдет в новое поколение. Лучшей особью считается особь, для которой значение оптимизационной функции минимально.

Общий принцип работы базового генетического алгоритма на Ш.2 следующий: на вход алгоритма поступает исходный вектор особей Ch_i; по порядку, начиная с первой, выбирается очередная особь j; затем, случайно, выбирается особь l, и с заданной вероятностью P_{cross} выполняется оператор кроссовера; далее выполняется оператор мутации с заданной вероятностью P_{mut}; потом выполняется турнирный отбор для результирующей особи и случайно выбранной особи r; если обработаны не все особи в векторе Ch_i, то процесс повторяется, иначе формируется новое поколение Ch_{i+1}. Схематически работа генетического алгоритма на Ш.2 представлена на рис.1.

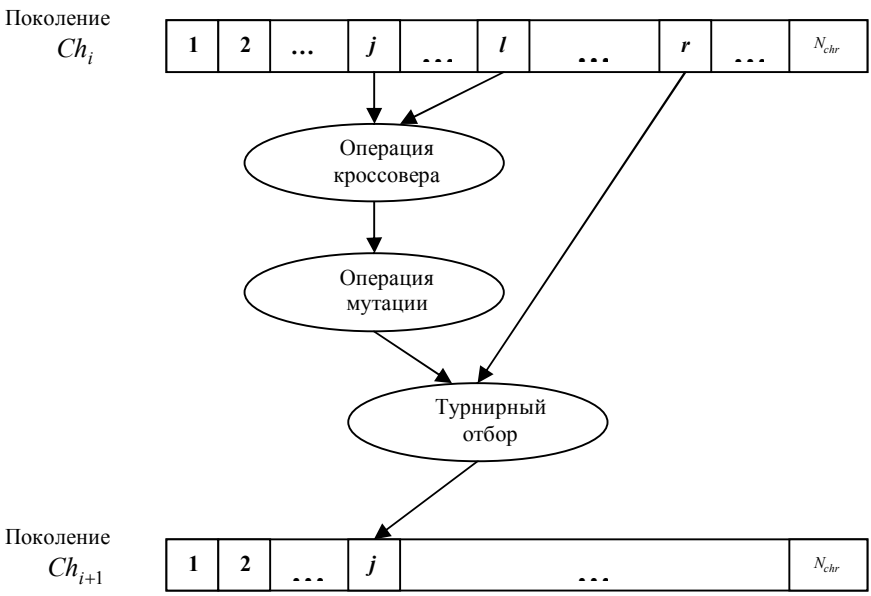


Рис. 1. Схема работы базового ГА на Ш.2

Модификация выбора родительских пар. В данной работе рассмотрена модификация (по сравнению с базовой схемой ГА) выбора родительских пар для оператора кроссовера, которая заключается в использовании в качестве оператора выбора турнирного отбора. В турнирном отборе будут участвовать две (бинарный турнирный отбор) и четыре случайно выбранные особи [2], из которых лучшая особь будет скрещиваться с очередной особью из вектора особей.

При данной модификации алгоритм работы генетического алгоритма на Ш.2 с использованием бинарного турнирного отбора выглядит следующим образом: на вход алгоритма поступает исходный вектор особей Ch_i; затем, по порядку, начиная с первой, выбирается очередная особь j; если сработает оператор кроссовера с заданной вероятностью P_{cross}, то выполняется турнирный отбор для случайно выбранных двух особей l и k, затем выполняется операция кроссовера для очередной и лучшей особей; потом выполняется оператор мутации с заданной вероятностью P_{mut}; затем выполняется турнирный отбор для результирующей особи и случайно выбранной особи r; если обработаны не все особи в векторе Ch_i, то процесс повторяется, иначе формируется новое поколение Ch_{i+1}. Схематически работа генетического алгоритма на Ш.2 при использовании данной модификации приведена на рис.2. При использовании турнирного отбора для четырех случайно выбранных особей алгоритм выглядит аналогично.

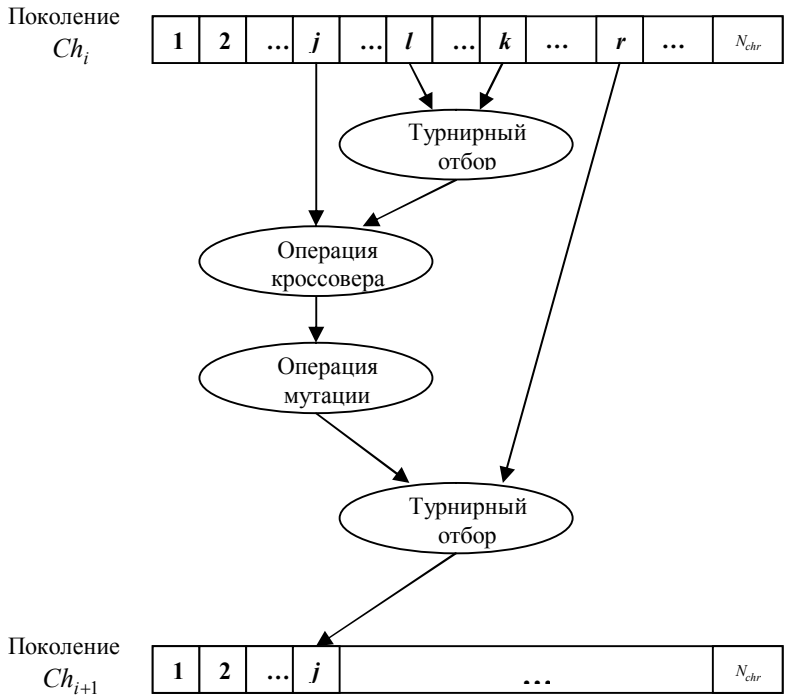


Рис. 2. Схема работы ГА на Ш.2 с использованием турнирного отбора для выбора родительских пар

Модификация формирования нового поколения. В целях повышения производительности работы генетического алгоритма предлагается изменить существующий алгоритм турнирного отбора для формирования нового поколения. Изменение заключается в том, что в турнирном отборе будут участвовать очередная особь и результирующая, полученная в ходе выполнения операторов кроссовера и мутации.

При использовании данной модификации генетический алгоритм на Ш.2 примет следующий вид: на вход алгоритма поступает исходный вектор особей Ch_i; по порядку, начиная с первой, выбирается очередная особь j; затем выполняется оператор кроссовера с заданной вероятностью P_{cross} для очередной особи j и случайно выбранной особи l; далее выполняется оператор мутации с заданной вероятностью P_{mut}; потом выполняется турнирный отбор для очередной особи j и результирующей особи; если обработаны не все особи в векторе Ch_i, то процесс повторяется, иначе формируется новое поколение Ch_{i+1}. Схематически работа генетического алгоритма при данной модификации на Ш.2 представлена на рис. 3.

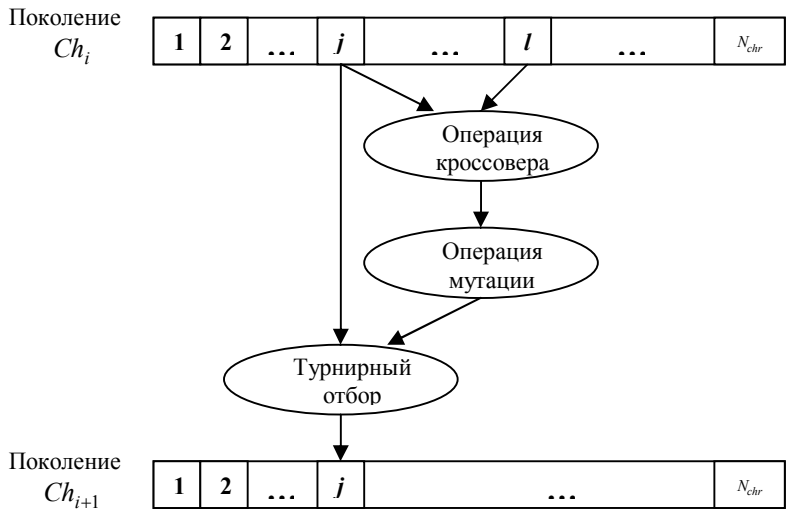


Рис.3. Схема работы ГА на Ш.2 с использованием турнирного отбора для формирования нового поколения

В данный алгоритм было внесено изменение, заключающееся в применении двоичного турнирного отбора для выбора одной из особей для оператора кроссовера вместо случайного выбора особи l из вектора Ch_i.

Методы испытаний. Для сравнительного исследования алгоритмов был проведен ряд вычислительных экспериментов для 2-4-приборных систем обработки информации, которые являются наиболее распространенными [3,4]. Количество работ, распределяемых между приборами, увеличивалось с 25 до 30.

Для проведения эксперимента были случайным образом сгенерированы 100 векторов загрузки, содержащие работы в диапазоне 25, 30; каждый из векторов решался базовым генетическим алгоритмом и предложенными модификациями данного алгоритма. Для всех используемых генетических алгоритмов были выбраны следующие фиксированные параметры: число особей составляло 50; условием останова являлось появление в процессе решения более 500 поколений с лучшей одинаковой особью; вероятность кроссовера составляла 90%, а вероятность мутации 10%.

Полученные результаты усреднялись по количеству экспериментов, т.е.

$$\overline{T}_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^{100} T_{\max i}}{100}, \qquad (2)$$

где $T_{\max}$ определялось по (1), а также аналогично усреднялись по времени решения задач T_{cp}.

Основные результаты вычислительного эксперимента отображены на рис. 4-9.

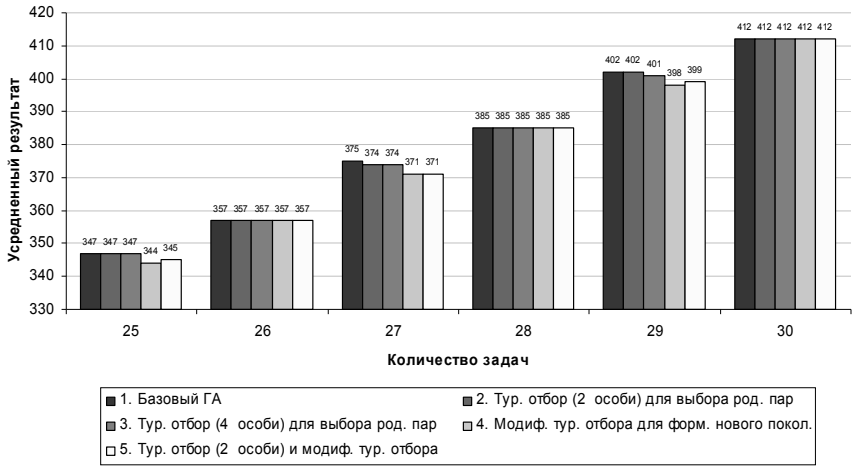


Рис.4. Усредненный результат работы алгоритмов при n=2

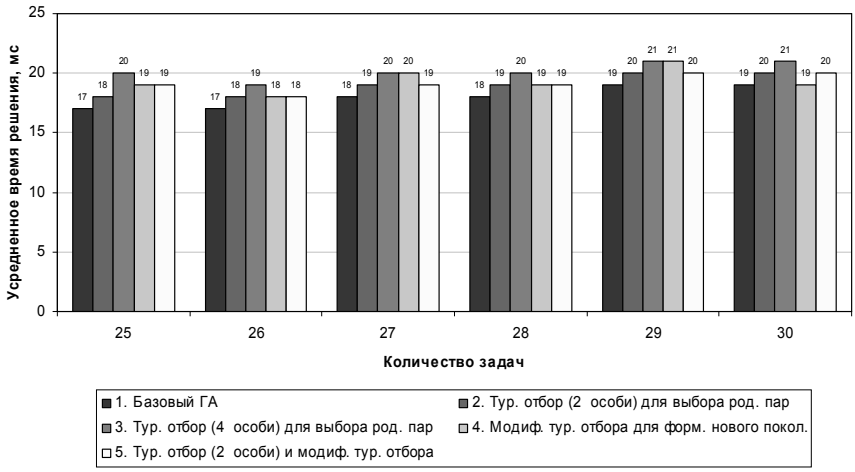


Рис.5. Усредненное время решения алгоритмов при n=2

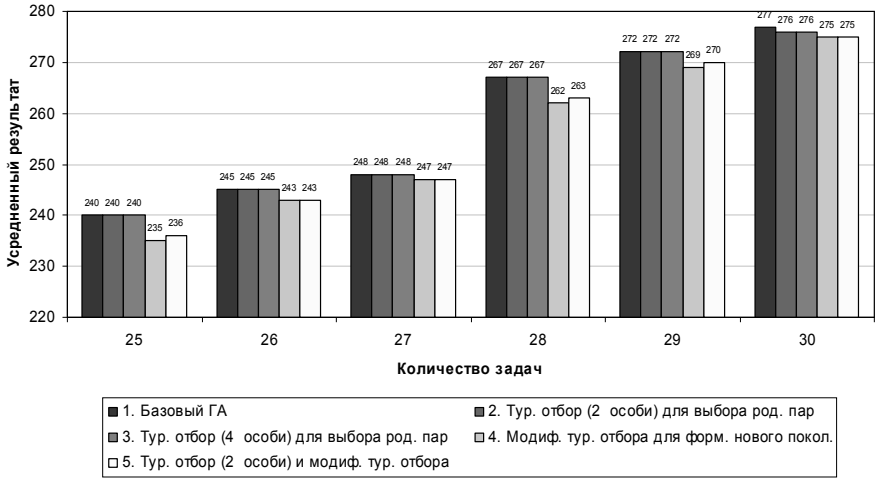


Рис.6. Усредненный результат работы алгоритмов при n=3

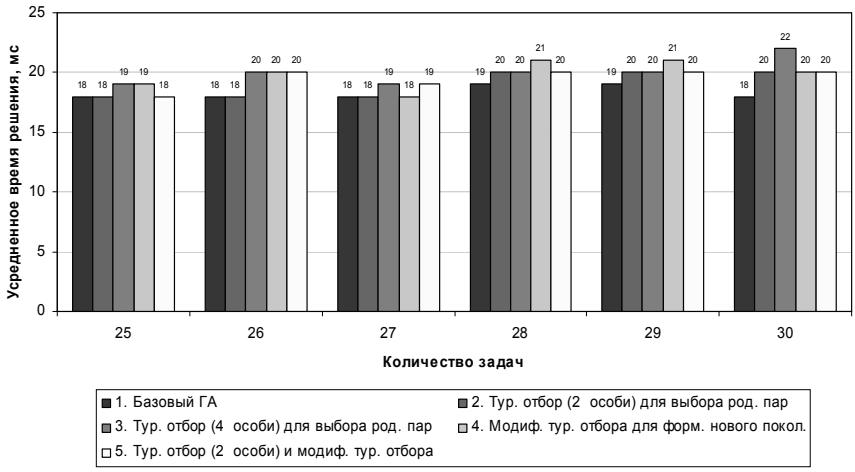


Рис. 7. Усредненное время решения алгоритмов при n=3

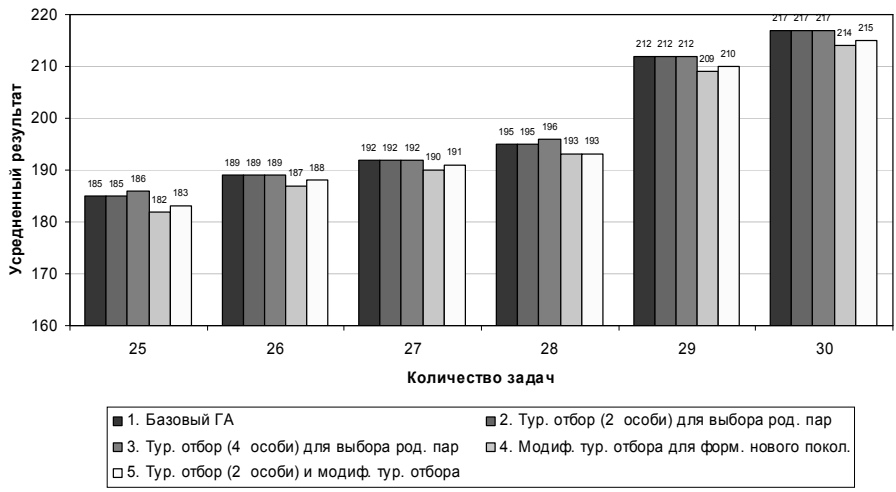


Рис. 8. Усредненный результат работы алгоритмов при n=4

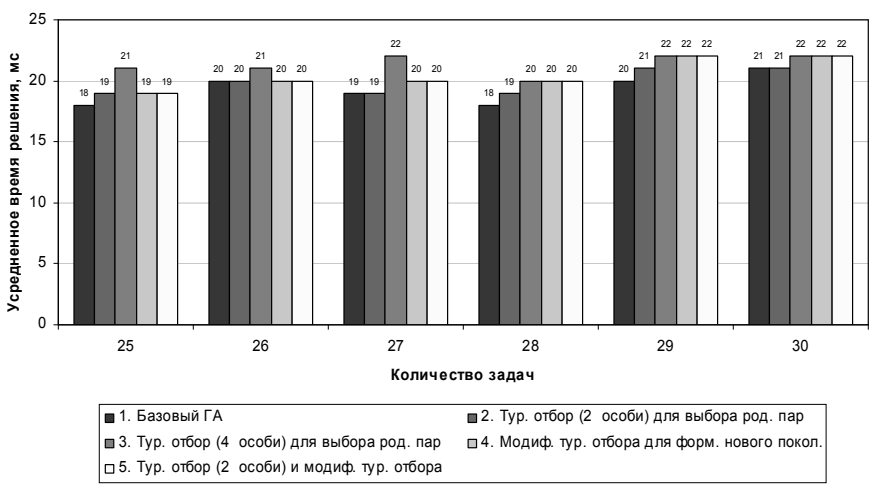


Рис. 9. Усредненное время решения алгоритмов при n=4

Проанализировав результаты вычислительного эксперимента, можно придти к следующим выводам, основанным на совокупном сопоставительном анализе диаграмм рис.4-9.

1. Предложенная модификация турнирного отбора для формирования нового поколения дает лучшие результаты, не увеличивая среднее время решения.

2. С увеличением числа особей, участвующих в турнирном отборе для выбора родительской пары с 2 до 4, результат не улучшается, а среднее время решения алгоритма увеличивается, поэтому следует ограничиться одной родительской парой.

3. Из приведенной диаграммы на рис.4 видно, что при количестве процессоров равных двум и при кратности количества задач количеству процессоров усредненные результаты работы предложенных алгоритмов совпадают. Однако из диаграмм, изображенных на рис. 6 и 8, видно, что при количестве процессоров больше двух эта тенденция значительно ослабляется.

4. Среднее время работы предложенных алгоритмов мало и практически соизмеримо между собой.

Выводы. Таким образом, предлагаемая модификация турнирного отбора для формирования нового поколения, заключающаяся в использовании в нём не только «потомков», но и «родителей», дает лучшие результаты при практически одинаковом времени решения задачи, поэтому с вычислительной точки зрения она является более эффективной и её можно рекомендовать к использованию.

Библиографический список

1. Головкин Б.А. Расчет характеристик и планирование параллельных вычислительных процессов. / Б.А. Головкин. – М.: Радио и связь, 1983.

2. Норенков И.П. Генетические методы структурного синтеза проектных решений / И.П. Норенков // Информационные технологии. – 1998. – № 1. – С. 9-13.

3. Ларионов А.М. Вычислительные комплексы, системы и сети. / А.М. Ларионов, С.А.Майоров, Г.И. Новиков. – Л.: Энергоатомиздат, 1987.

4. Панфилов И.В., Вычислительные системы. / И.В. Панфилов, А.М. Половко. – М.: Советское радио, 1980.

Материал поступил в редакцию 10.03.09.

R.A.NEYDORF, V.G.KOBAK, D.V.TITOV

COMPARATIVE ANALYSIS OF EFFICIENCY VARIANTS OF TOURNAMENT SELECTION OF GENETIC ALGORITHM OF THE DECISION OF HOMOGENEOUS DISTRIBUTION PROBLEMS

This paper gives the estimation of the tournament selection, used in the genetic algorithm, for the uniform instruments of information processing, via the comparison of the standard diagram of tournament selection with its modifications, with the aid of the computational experiment.

НЕЙДОРФ Рудольф Анатольевич (р. 1944), заведующий кафедрой «ПОВТ и АС» ДГТУ, доктор технических наук (1988), профессор (1994). Окончил НПИ (1967).
Основные направления научной деятельности: синтез и структурно-параметрическая оптимизация алгоритмов управления, процессы обработки информации и управления в технических системах.
Автор более 200 научных работ, 11 учебных пособий. Имеет 34 авторских свидетельства на изобретения, 9 свидетельств Роспатента о регистрации программ.

КОБАК Валерий Григорьевич (р. 1961), докторант ДГТУ, кандидат технических наук. Окончил НПИ (1983).
Научные интересы: методы решения экстремальных задач в однородных вычислительных системах.
Автор более 70 научных работ.

ТИТОВ Дмитрий Вячеславович (р. 1981), аспирант ДГТУ. Окончил магистратуру в ДГТУ (2005).
Научные интересы: методы решения минимаксной задачи в однородных вычислительных системах точными и приближенными алгоритмами.
Автор 9 научных работ.

neyruan@yandex.ru

УДК 004.8:631.2

А.К. ТУГЕНГОЛЬД, Л.В. БОРИСОВА, В.П. ДИМИТРОВ

КОРРЕКТИРОВКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕГУЛИРОВОК НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА

Приводится решение одной из задач технологической регулировки зерноуборочного комбайна на основе нечеткого логического вывода.

Ключевые слова: *лингвистическая переменная, экспертная система, зерноуборочный комбайн, регулировка.*

Введение. Необходимость в использовании нечеткого описания задачи принятия решений при корректировке технологических регулировок сложной сельскохозяйственной машины обусловлена следующими обстоятельствами.

1. Имеющиеся ограничения на ресурсы моделирования (временные и стоимостные) не позволяют получить в принципе существующую четкую информацию и вынуждают пользователей применять нечеткие экспертные знания [1].

2. Имеющаяся числовая информация не позволяет найти решение формальными методами при существующих ограничениях на ресурсы, но эксперт это решение, тем не менее, находит, используя свой опыт, который он может передать для принятия решений в виде совокупности нечетких правил. Использование нечетких понятий позволяет ввести в рассмотрение качественные описания и учесть неопределенность задачи принятия решений, достигнуть полного описания всех факторов, имеющих отношение к данной задаче и не поддающихся количественному описанию.

Информация о стратегиях принятия решений в типовых ситуациях, получаемая от эксперта, описывается системой условных высказываний в терминах лингвистических переменных, устанавливающих связь между входными и выходными параметрами технологического процесса работы комбайна [2].

Общая схема вывода решений. Приближенные рассуждения представляют собой процесс, при котором из нечетких посылок выводятся некоторые следствия (возможно также нечеткие). Лингвистическая модель рассматриваемого процесса технологической регулировки может быть представлена в виде:

$$\begin{array}{l} \text{ЕСЛИ } X_1 \text{ есть } A_{11} \text{ И } \ldots \text{ И } X_m \text{ есть } A_{1m}, \text{ ТО } Y_1 \text{ есть } B_{11} \text{ И } \ldots \text{ И } Y_n \text{ есть } B_{1n}, \\ \ldots \\ \text{ЕСЛИ } X_1 \text{ есть } A_{p1} \text{ И } \ldots \text{ И } X_m \text{ есть } A_{pm}, \text{ ТО } Y_1 \text{ есть } B_{p1} \text{ И } \ldots \text{ И } Y_n \text{ есть } B_{pn}. \end{array} \quad (1)$$

Все параметры модели описываются собственными лингвистическими переменными, значения которых, называемые термами, задаются с помощью средств естественного языка и используются для выражения необходимых качественных оценок. Так, например, лингвистическая пере-

менная <Скорость> может принимать значение из следующего набора: {…, «Малая», «Средняя», «Большая», …}. При этом каждому значению лингвистической переменной ставится в соответствие нечеткое подмножество со своей функцией принадлежности:

$$\mu_{Aki} \in F(X_i);\ \mu_{Bkj} \in F(Y_j),$$

где $F(X_i)$, $F(Y_j)$ – множества нечетких подмножеств, определенных на базовых шкалах X_i и Y_j.

При составлении лингвистических моделей в общем случае могут использоваться различные виды связок, включая И, ИЛИ и НЕ [3].

С фактической точки зрения совокупность правил типа (1) задает некоторое отображение множества значений входных лингвистических переменных в аналогичное множество выходных:

$$U^m \rightarrow V^n,$$

где
$$U^m = \underset{i \in I}{\times} U_i; \qquad V^n = \underset{j \in J}{\times} V_j. \tag{2}$$

Соотношению (2) в свою очередь можно поставить в соответствие нечеткое отображение [4]:

$$S: F(X) \rightarrow F(Y), \tag{3}$$

где
$$S \underset{k \in K}{\cup} \mu_{Ak} \times \mu_{Bk},\ \mu_{Ak} = \underset{i \in I}{\times} \mu_{Bki},\ \mu_{Bk} = \underset{j \in J}{\times} \mu_{Bkj}.$$

Обобщение известного в классической логике правила *modus ponens* позволяет получить композиционное правило нечеткого вывода:

$$\mu_{B'} = \mu_{A'} \bullet S, \tag{4}$$

где $\mu_{A'}$ – исходная посылка, получаемая при оценке наблюдаемых данных по входным функциям принадлежности; $\mu_{B'}$ – нечеткий результат логического вывода на основе знаний, получаемый с помощью отображения (3); • - операция композиции.

Развернутая форма нечеткого логического вывода для системы знаний вида (1) может быть представлена так [4]:

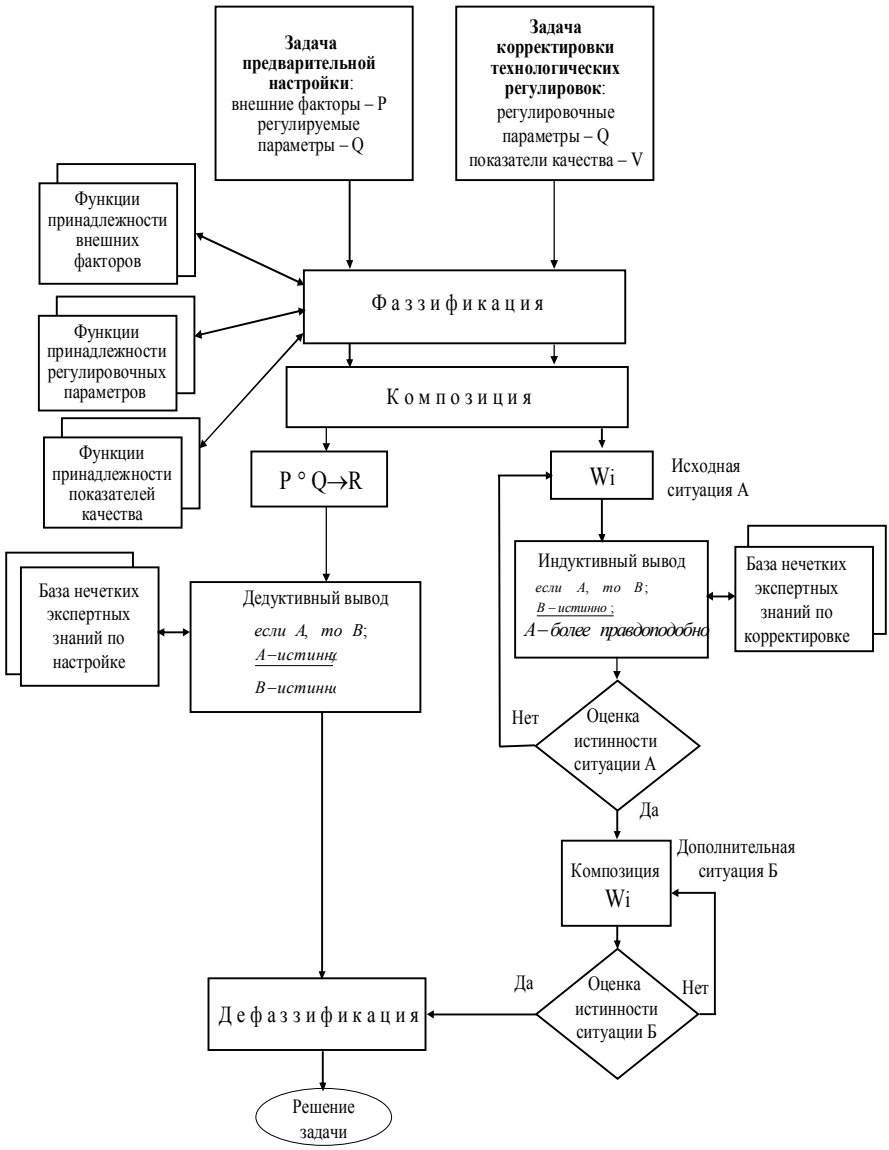
$$\mu_{B'} = \underset{k \in K}{\vee} \left(\underset{j \in J}{\wedge} \mu_{Bkj} y_j \right) \wedge \underset{i \in I}{\wedge} \mu_{Aki}(x_i')), \tag{5}$$

где x_i' – наблюдаемое значение входного параметра.

Решение задач управления с использованием методов нечеткой логики предполагает определение конкретных значений выходных переменных. Этот этап, называемый дефаззификацией, может осуществляться многими способами, наиболее распространенный из которых основан на отыскании «центра тяжести» полученного нечеткого соответствия B' [3]:

$$y_j' = \left(\int y_j Y_j \mu_{B'}(y_j) dy_j \right) / \left(\int \mu_{B'}(y_j Y_j) dy_j \right). \tag{6}$$

Последовательность этапов нечеткого логического вывода при решении задач предварительной настройки и корректировки технологических регулировок показана на рисунке. Общими этапами процессов принятия решений являются этапы фаззификации, композиции и дефаззификации.



Обобщенная схема процесса принятия решений

Моделирование предметной области. При появлении внешнего признака нарушения технологического процесса зерноуборочного комбайна – повышенные потери щуплого зерна с половой – необходимо рассмотреть следующие регулировочные параметры: скорость движения комбайна; частоту вращения крылача вентилятора; зазор жалюзи верхнего решета; зазор жалюзи удлинителя верхнего решета.

Зададим лингвистические переменные β_R, β_O, β_N, β_M и β_V:

β_R – < скорость движения комбайна, км/час >, <СДК>

β_O – < частота вращения крылача вентилятора, мин$^{-1}$ >, <ЧВКВ>

β_N – < зазор жалюзи верхнего решета, мм >, <ЗЖВР>

β_M – < зазор жалюзи удлинителя верхнего решета, мм >, <ЗЖУВР>

β_V – < повышенные потери щуплого зерна с половой, % >, <ПЩЗ>

Рассмотренным ЛП соответствуют терм-множества: T_R, T_O, T_N, T_M, T_V (таблица). При выборе базового терм-множества ЛП «повышенные потери щуплого зерна с половой» первый терм – «низкие потери» означает не превышение конкретного значения потерь щуплым зерном выше допустимого (согласно агротребованиям).

Функции принадлежности μ_{R_1}, μ_{R_2}, μ_{R_3}, μ_{O_1}, μ_{O_2}, μ_{O_3}, μ_{N_1} μ_{N_2}, μ_{N_3}, μ_{M_1}, μ_{M_2}, μ_{M_3} μ_{V_1}, μ_{V_2} (таблица) и параметры функций принадлежности, определяющие семантику соответствующих базовых значений переменных β_R, β_O, β_N, β_M и β_V, приведены в [5].

Функции принадлежности термов лингвистических переменных

Лингвистические переменные	Терм-множества, Т	Значения термов ЛП	Функции принадлежности термов ЛП		
β_R, <СДК>	{низкая; номинальная; высокая}	{$\mathbf{a_{R1}}$;$\mathbf{a_{R2}}$;$\mathbf{a_{R3}}$} {4; 5,5; 7}	$\mathbf{a_{R1}}$ μ_{R_1}= 1 μ_{R_2}=0,05 μ_{R_3}= 0	$\mathbf{a_{R2}}$ μ_{R_1}= 0 μ_{R_2}=1 μ_{R_3}=0	$\mathbf{a_{R3}}$ μ_{R_1}= 0 μ_{R_2}=0,05 μ_{R_3}=1
β_O,<ЧВКВО>	{пониженная; номинальная; повышенная}	{$\mathbf{a_{O1}}$;$\mathbf{a_{O2}}$;$\mathbf{a_{O3}}$} {640;740;810}	$\mathbf{a_{O1}}$ μ_{O_1}= 1 μ_{O_2}=0 μ_{O_3} =0	$\mathbf{a_{O2}}$ μ_{O_1}= 0 μ_{O_2}=1 μ_{O_3} =0	$\mathbf{a_{O3}}$ μ_{O_1}= 0 μ_{O_2}=0,05 μ_{O_3} =1
β_N , <ЗЖВР>	{малый; средний; большой}	{a_{N1};a_{N2};a_{N3}} {6; 14; 18}	a_{N1} μ_{N_1}=1 μ_{N_2}=0 μ_{N_3}=0	a_{N2} μ_{N_1}= 0 μ_{N_2}= 1 μ_{N_3}=0	a_{N3} μ_{N_1}=0 μ_{N_2}=0,2 μ_{N_3}=1
β_M,<ЗЖУВР>	{малый; средний; большой}	{a_{M1};a_{M2};a_{M3}} {8; 15; 20}	a_{M1} μ_{M_1}=1 μ_{M_2}=0,2 μ_{M_3}=0	a_{M2} μ_{M_1}=0 μ_{M_2}=0,75 μ_{M_3}=0,25	a_{M3} μ_{M_1}=0 μ_{M_2}=0,02 μ_{M_3}=1
β_V , <ПЩЗ>	{низкие; высокие}	{a_{V1}; a_{V2}} {0,2; 0,6}	a_{V1} μ_{V_1}=1 μ_{V_2}=0	a_{V2} μ_{V_1}=0,35 μ_{V_2}=0,7	

Обобщенная лингвистическая переменная β_W определена на множестве W=R×O×N×M с базовыми значениями

$$T_w = \{a_{w1}; a_{w2}; a_{w3}\ldots\ldots a_{w81}\},$$

где a_{W_i} – возможные значения обобщенной лингвистической переменной β_W.

Нечеткие высказывания $\widetilde{A}_1^*, \widetilde{A}_2^*$ имеют вид:

$$\widetilde{A}_1^*: \quad < \beta_W \text{ есть } a_{W_1}^* \text{ или } \beta_W \text{ есть } a_{W_2}^* \text{ или } \beta_W \text{ есть } a_{W_3}^* \text{ или } \beta_W \text{ есть } a_{W_4}^* \text{ или } \beta_W \text{ есть } a_{W_5}^* \text{ или } \beta_W \text{ есть } a_{W_6}^* \text{ или } \beta_W \text{ есть } a_{W_7}^* \text{ или } \beta_W \text{ есть } a_{W_8}^* \text{ или } \beta_W \text{ есть } a_{W_9}^*$$

или β_W есть $a^*_{W\,10}$ или β_W есть $a^*_{W\,11}$ или β_W есть $a^*_{W\,12}$ или β_W есть $a^*_{W\,13}$ или β_W есть $a^*_{W\,14}$ или β_W есть $a^*_{W\,15}$ или β_W есть $a^*_{W\,16}$ или β_W есть $a^*_{W\,17}$ или β_W есть $a^*_{W\,18}$ или β_W есть $a^*_{W\,29}$ или β_W есть $a^*_{W\,30}$ или β_W есть $a^*_{W\,31}$ или β_W есть $a^*_{W\,32}$ или β_W есть $a^*_{W_{33}33}$ или β_W есть $a^*_{W\,34}$ или β_W есть $a^*_{W\,35}$ или β_W есть $a^*_{W\,36}$ или β_W есть $a^*_{W\,40}$ или β_W есть $a^*_{W\,41}$ или β_W есть $a^*_{W\,42}$ или β_W есть $a^*_{W\,43}$ или β_W есть $a^*_{W\,44}$ или β_W есть $a^*_{W\,45}$ или β_W есть $a^*_{W\,47}$ или β_W есть $a^*_{W\,48}$ или β_W есть $a^*_{W\,66}$ или β_W есть $a^*_{W\,67}$ или β_W есть $a^*_{W\,68}$ или β_W есть $a^*_{W\,69}$ или β_W есть $a^*_{W\,70}$ или β_W есть $a^*_{W\,71}$ или β_W есть $a^*_{W\,72}$ или β_W есть $a^*_{W\,75}$ или β_W есть $a^*_{W\,78}$ >

$\widetilde{A}^*_2$: $\langle \beta_W$ есть $a^*_{W\,19}$ или β_W есть $a^*_{W\,20}$ или β_W есть $a^*_{W\,21}$ или β_W есть $a^*_{W\,22}$ или β_W есть $a^*_{W\,23}$ или β_W есть $a^*_{W\,24}$ или β_W есть $a^*_{W\,25}$ или β_W есть $a^*_{W\,26}$ или β_W есть $a^*_{W\,27}$ или β_W есть $a^*_{W\,28}$ или β_W есть $a^*_{W\,37}$ или β_W есть $a^*_{W\,38}$ или β_W есть $a^*_{W\,39}$ или β_W есть $a^*_{W\,46}$ или β_W есть $a^*_{W\,49}$ или β_W есть $a^*_{W\,50}$ или β_W есть $a^*_{W\,51}$ или β_W есть $a^*_{W\,52}$ или β_W есть $a^*_{W\,53}$ или β_W есть $a^*_{W\,54}$ или β_W есть $a^*_{W\,55}$ или β_W есть $a^*_{W\,56}$ или β_W есть $a^*_{W\,57}$ или β_W есть $a^*_{W\,58}$ или β_W есть $a^*_{W\,59}$ или β_W есть $a^*_{W\,60}$ или β_W есть $a^*_{W\,61}$ или β_W есть $a^*_{W\,62}$ или β_W есть $a^*_{W\,63}$ или β_W есть $a^*_{W\,64}$ или β_W есть $a^*_{W\,65}$ или β_W есть $a^*_{W\,73}$ или β_W есть $a^*_{W\,74}$ или β_W есть $a^*_{W\,76}$ или β_W есть $a^*_{W\,77}$ или β_W есть $a^*_{W\,79}$ или β_W есть $a^*_{W\,80}$ или β_W есть $a^*_{W\,81}$ >

Здесь a^*_{Wj} – обобщенные переменные возможных сочетаний.

Если один из показателей качества технологического процесса уборки «потери щуплого зерна с половой <ПЩЗП>» характеризуется пониженным значением, то примем комбинацию регулировочных параметров, соответствующую нечеткой выходной ситуации $B_{1,}$ установив истинность высказываний с помощью правила modus ponens.

Например, сложившаяся ситуация характеризуется экспертным высказыванием вида

$E_{1.41}$:‹β_R есть α_{R2} и β_O есть α_{O2} и β_N есть α_{N2} и β_M есть α_{M2}›.

«Скорость движения комбайна номинальная

И частота вращения крылача вентилятора очистки номинальная

И зазор жалюзи верхнего решета средний

И зазор жалюзи удлинителя верхнего решета средний »

и одним из возможных и соответствующих ему высказыванием с конкретными количественными данными вида:

«Скорость движения комбайна 5.5 км/час

И частота вращения крылача вентилятора очистки 740 мин $^{-1}$

И зазор жалюзи верхнего решета 14 мм

И зазор жалюзи удлинителя верхнего решета 15 мм »

Данной комбинации регулировочных параметров комбайна соответствует величина потерь щуплого зерна с половой 0.2 %.

Указанным значениям термов ЛП соответствуют числовые значения, попадающие в соответствующую область определения:

α_R = 5,5 км/час; α_O = 740 мин$^{-1}$; α_N = 14 мм; α_M = 15 мм; α_V = 0,2 %.

Вычислим значения функций принадлежности для обобщенной лингвистической переменной β_W:

$$\mu_{W_j}(w) \text{ для } w = W=R\times O\times N\times M = (5,5;\ 740;14;15).$$

$$\mu_{W_1}(w) = \mu_{W1} \vee \mu_{W2} \vee \mu_{W3} \vee \mu_{W4} \vee \mu_{W5} \vee \mu_{W6} \vee \mu_{W7} \vee \mu_{W8} \vee \mu_{W9} \vee \mu_{W10} \vee \mu_{W11} \vee \mu_{W12} \vee \mu_{W13} \vee \mu_{W14} \vee \mu_{W15} \vee \mu_{W16} \vee \mu_{W17} \vee \mu_{W18} \vee \mu_{W29} \vee \mu_{W30} \vee \mu_{W31} \vee \mu_{W32} \vee \mu_{W33} \vee \mu_{W34} \vee \mu_{W35} \vee \mu_{W36} \vee \mu_{W40} \vee \mu_{W41} \vee \mu_{W42} \vee \mu_{W43} \vee \mu_{W44} \vee \mu_{W45} \vee \mu_{W47} \vee \mu_{W48} \vee \mu_{W66} \vee \mu_{W67} \vee \mu_{W68} \vee \mu_{W69} \vee \mu_{W70} \vee \mu_{W71} \vee \mu_{W72} \vee \mu_{W75} \vee \mu_{W78} =$$

$$= \mu_{R1}\&\mu_{O1}\&\mu_{N1}\&\mu_{M1} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O1}\&\mu_{N1}\&\mu_{M2} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O1}\&\mu_{N1}\&\mu_{M3} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O1}\&\mu_{N2}\&\mu_{M1} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O1}\&\mu_{N2}\&\mu_{M2} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O1}\&\mu_{N2}\&\mu_{M3} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O1}\&\mu_{N3}\&\mu_{M1} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O1}\&\mu_{N3}\&\mu_{M2} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O1}\&\mu_{N3}\&\mu_{M3} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O2}\&\mu_{N1}\&\mu_{M1} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O2}\&\mu_{N1}\&\mu_{M2} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O2}\&\mu_{N1}\&\mu_{M3} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O2}\&\mu_{N2}\&\mu_{M1} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O2}\&\mu_{N2}\&\mu_{M2} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O2}\&\mu_{N2}\&\mu_{M3} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O2}\&\mu_{N3}\&\mu_{M1} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O2}\&\mu_{N3}\&\mu_{M2} \vee \mu_{R1}\&\mu_{O2}\&\mu_{N3}\&\mu_{M3} \vee \mu_{R2}\&\mu_{O1}\&\mu_{N1}\&\mu_{M2} \vee \mu_{R2}\&\mu_{O1}\&\mu_{N1}\&\mu_{M3} \vee \mu_{R2}\&\mu_{O1}\&\mu_{N2}\&\mu_{M1} \vee \mu_{R2}\&\mu_{O1}\&\mu_{N2}\&\mu_{M2} \vee \mu_{R2}\&\mu_{O1}\&\mu_{N2}\&\mu_{M3} \vee \mu_{R2}\&\mu_{O1}\&\mu_{N3}\&\mu_{M1} \vee \mu_{R2}\&\mu_{O1}\&\mu_{N3}\&\mu_{M2} \vee \mu_{R2}\&\mu_{O1}\&\mu_{N3}\&\mu_{M3} \vee \mu_{R2}\&\mu_{O2}\&\mu_{N2}\&\mu_{M1} \vee \mu_{R2}\&\mu_{O2}\&\mu_{N2}\&\mu_{M2} \vee \mu_{R2}\&\mu_{O2}\&\mu_{N2}\&\mu_{M3} \vee \mu_{R2}\&\mu_{O2}\&\mu_{N3}\&\mu_{M1} \vee \mu_{R2}\&\mu_{O2}\&\mu_{N3}\&\mu_{M2} \vee \mu_{R2}\&\mu_{O2}\&\mu_{N3}\&\mu_{M3} \vee \mu_{R2}\&\mu_{O3}\&\mu_{N1}\&\mu_{M2} \vee \mu_{R2}\&\mu_{O3}\&\mu_{N1}\&\mu_{M3} \vee \mu_{R3}\&\mu_{O2}\&\mu_{N1}\&\mu_{M3} \vee \mu_{R3}\&\mu_{O2}\&\mu_{N2}\&\mu_{M1} \vee \mu_{R3}\&\mu_{O2}\&\mu_{N2}\&\mu_{M2} \vee \mu_{R3}\&\mu_{O2}\&\mu_{N2}\&\mu_{M3} \vee \mu_{R3}\&\mu_{O2}\&\mu_{N3}\&\mu_{M1} \vee \mu_{R3}\&\mu_{O2}\&\mu_{N3}\&\mu_{M2} \vee \mu_{R3}\&\mu_{O2}\&\mu_{N3}\&\mu_{M3} \vee \mu_{R3}\&\mu_{O3}\&\mu_{N1}\&\mu_{M3} \vee \mu_{R3}\&\mu_{O3}\&\mu_{N2}\&\mu_{M3}.$$

Аналогично раскрывается выражение для $\mu_{W_2}(w)$.

После подстановки и вычислений получаем:

$$\mu_{W_1}(w) = 0{,}75; \qquad \mu_{W_2}(w) = 0.$$

Определим функции принадлежности $\mu^*_{W_j}$ и $\mu^*_{V_j}$:

$$\mu^*_{W1}(w) = 1 - \mu_{W1}(w) = 1 - 0{,}75 = 0{,}25;$$

$$\mu^*_{W2}(w) = 1 - \mu_{W2}(w) = 1 - 0 = 1;$$

$$\mu^*_{V1}(v) = 1 - \mu_{V1}(v) = 1 - 1 = 0;$$

$$\mu^*_{V2}(v) = 1 - \mu_{V2}(v) = 1 - 0 = 1.$$

Задача принятия решений заключается в выборе возможного сочетания регулировочных параметров комбайна, обуславливающего отклонения показателя качества технологического процесса работы комбайна - потери щуплого зерна с половой, при этом степень $\mu_{mp}(v)$ правила modus ponens для нечеткой схемы вывода должна принимать наибольшее значение.

Для рассматриваемой задачи степень истинности высказывания с заключением о высоких потерях щуплого зерна с половой равна

$$\mu_{mp}(v_2) = \min\{1,[1 - \mu^*_{W1}(w) + \mu^*_{V1}(v_j)],[1 - \mu^*_{W2}(w) + \mu^*_{V2}(v_j)]\}$$

$$= \min\{1,\{[1 - 0{,}25 + 0{,}65],[1 - 1 + 0{,}3]\} = \min\{1\&1{,}4\&0{,}3\} = 0{,}3,$$

а для высказывания о низких потерях щуплого зерна с половой равна

$$\mu_{mp}(v_1) = \min\{1,[1 - \mu^*_{W1}(w) + \mu^*_{V1}(v_j)],[1 - \mu^*_{W2}(w) + \mu^*_{V2}(v_j)]$$

$$= \min\{1,\{[1 - 0{,}25 + 0],[1 - 1 + 1]\} = \min\{1\&0{,}75\&1\} = 0{,}75,$$

т.е. $\mu_{mp}(v_1) = 0{,}75;\ \mu_{mp}(v_2) = 0{,}3,$

что подтверждает правильность приведенных рассуждений.

Заключение. Созданные на основе модели база знаний и механизм вывода решений составляют основу экспертной системы, использование которой в полевых условиях позволяет снизить время на технологические простои и сократить потери урожая. Практической реализацией разработанных алгоритмов является создание программных средств для автоматизированного решения задачи, на которые получены свидетельства об официальной регистрации (№ 2006613272, №2006612454, № 2006613274, № 2007610651). Использование экспертной системы в практических условиях при проведении технологической настройки с использованием ЭС позволило уменьшить затрачиваемое время в 2 – 5 раза по сравнению с традиционными методами.

Библиографический список

1. Пугачев А.Н. Советы комбайнеру. / А.Н. Пугачев. – М.: Колос, 1984.- 224 с.

2. Борисова Л.В. Методика моделирования предметной области «технологическая настройка» в нечеткой постановке / Л.В. Борисова. // Докл. РАСХН, 2005. – №6. – С. 62-65.

3. Прикладные нечеткие системы; пер с япон. / К. Асаи, Д. Ватада, С. Сугэно. – М.: Мир, 1993. – 368 с.

4. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов. – М.: Наука, 2006. – 333 с.

5. Борисова Л.В. Особенности формализации знаний при логико-лингвистическом описании сложных технических систем. / Л.В. Борисова, В.П. Димитров. – Ростов н/Д: РГАСХМ, 2006. – 234 с.

Материал поступил в редакцию 11.05.09.

A.K. TUGENGOLD, L.V. BORISOVA, V.P. DIMITROV

TECHNOLOGICAL ADJUSTMENTS UPDATING ON THE BASIS OF FUZZY LOGIC CONCLUSION

One of the combine harvester's technological adjustment task's solving is carrying out on the basis of fuzzy logic conclusion.

ТУГЕНГОЛЬД Андрей Кириллович (р.1937), профессор кафедры «Робототехника и мехатроника», доктор технических наук (1983). Окончил РИСХМ (1960).
Сфера научных интересов: интеллектуальное управление технологическими системами, динамика и точность мехатронных систем.
Имеет 203 научных публикации (в том числе 18 учебных пособий и монографий).

БОРИСОВА Людмила Викторовна, заведующая кафедрой «Экономика и менеджмент машиностроения» Ростовской государственной академии сельхозмашиностроения, доктор технических наук (2008), профессор. Окончила РГАСХМ (1991).
Сфера научных интересов: статистика, системы информационного обеспечения жизненного цикла продукции, менеджмент качества.
Имеет 198 научных публикаций (в том числе 14 учебных пособий и монографий).

ДИМИТРОВ Валерий Петрович (р.1953), заведующий кафедрой «Управление качеством» ДГТУ, доктор технических наук (2002), профессор. Окончил РИСХМ (1975).
Сфера научных интересов: системы информационного обеспечения жизненного цикла продукции, экспертные системы, техническое обслуживание машин.
Имеет 325 научных публикаций (в том числе 32 учебных пособий и монографий).

akt0@yandex.ru
borisovalv09@mail.ru
vdimitrov@dstu.edu.ru

УДК 621.9.06:628.5

А.Н.ЧУКАРИН, С.А.ШАМШУРА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИЙ АКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СТЕНДОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ

В статье рассмотрена динамическая модель стенда испытаний на циклическую прочность лонжеронов вертолетов. Получены зависимости для теоретического описания вибраций на основных элементах, таких как самоиспытуемое изделие, и тросах системы натяжения.
Ключевые слова: *вибрация, акустика, динамические испытания*

Введение. Процесс испытаний изделий на циклическую прочность по времени достаточно длительный, поэтому обслуживающий персонал подвергается постоянному воздействию вибраций и шума. Исследования проводили на стенде динамических испытаний, компоновка которого приведена на рис.1.

Рис.1. Стенд динамических испытаний

Стенд для динамических испытаний лонжеронов лопастей вертолета – это сложная конструкция, состоящая из следующих подсистем (рис.2):

1 – подсистема опоры со стороны лонжерона;
2 – подсистема опоры со стороны системы натяжения;
3 – подсистема тросов натяжения;
4 – подсистема лонжерона;
5 – подсистема вибровозбудителя.

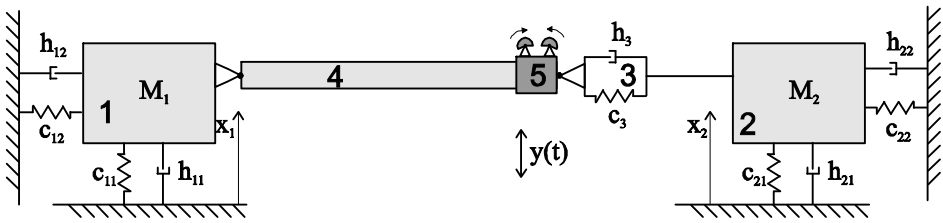


Рис.2. Структурная схема стенда динамических испытаний лопасти вертолета

Рассмотрим более подробно структуру стенда (см.рис.2). Опоры со стороны лонжерона 1 и со стороны системы натяжения 2, массами M_1 и M_2, соответственно, соединены с полом цеха упругодиссипативными связями. Жесткость c_{ij} и диссипация h_{ij} связей, $i = \overline{1,2}$, $j = \overline{1,2}$ в общем случае нелинейно зависят от смещений x_i и скоростей $\dot{x}_i$.

Подсистема натяжения 3 состоит из стальных тросов, с помощью которых осуществляется предварительный натяг лонжерона на стенде. С точки зрения излучения звуковых колебаний – это набор систем с распределенной массой.

Возбудитель колебаний 5 имеет два эксцентрика, закрепленные на правом конце лонжерона. Для уменьшения колебаний в продольном направлении эксцентрики вращаются навстречу друг другу. Вращение производится от электродвигателя постоянного тока (на схеме не показан) с приводом через упругую муфту, практически исключающую передачу колебаний на двигатель. Эксцентрики имеют форму полуцилиндров, сумма несбалансированных масс эксцентриков равна m, расстояние от несбалансированной массы до оси вращения - r, циклическая частота вращения ω может регулироваться. Общая масса эксцентриков с системой закрепления равна M_3.

Исследование. Допустим, что основными источниками излучений звуковой энергии, имеющими широкий спектр собственных частот колебаний, являются самоиспытуемое изделие и система натяжения. Известно, что задача расчета спектров шума фактически сводится к определению виброскоростей на собственных модах колебаний, т.е. к расчету спектра вибраций.

Конструкция стенда позволяет рассматривать испытуемое изделие как балку или оболочку, шарнирно закрепленную с одной стороны, при воздействии продольной силы (или натяжения), а второй ее конец получает возбуждение от эксцентрикового вибратора. Расположим начало координат на шарнирном закреплении, а в координате *z* = *l* расположим вибратор. Краевые условия в этом случае определяются следующим образом [1]:

Шарнирно опертый конец:	свободный конец:
$x = 0$;	$x = l$;
$y = 0;\quad \dfrac{\partial^2 y}{\partial z^2} = 0;$	$y = a^*;\quad \dfrac{\partial^3 y}{\partial z^3} = 0,$

где *l* – длина изделия, м; а – амплитуда колебаний вибратора, м.

Функцию, удовлетворяющую таким краевым условиям, зададим в виде:

$$\varphi(z)=\sin^3\frac{2k-1}{2l}\pi z,$$

где k - коэффициент, учитывающий соответствующую моду колебаний.

Дифференциальное уравнение колебаний изделия определяется следующим образом:

$$\begin{aligned}
&EI_x(z)+\frac{\partial^4\eta}{\partial z^4}-\rho I_x(z)\frac{\partial^4\eta}{\partial x^2\partial t^2}+\rho F(z)\frac{\partial^2\eta}{\partial t^2}-T_0\frac{\partial^2\eta}{\partial t^2}=\\
&=\frac{ma^*\omega^2}{4m_0l}\sin^3\frac{2k-1}{2}\pi\sin\omega t\left(3\sin\frac{2k-1}{2l}-\sin\frac{2k-1}{2l}3\pi x\right);\\
&EI_y(z)+\frac{\partial^4\eta}{\partial z^4}-\rho I_y(z)\frac{\partial^4\eta}{\partial x^2\partial t^2}+\rho F(z)\frac{\partial^2\eta}{\partial t^2}-T_0\frac{\partial^2\eta}{\partial t^2}=\\
&=\frac{ma^*\omega^2}{4m_0l}\sin^3\frac{2k-1}{2}\pi\sin\omega t\left(3\sin\frac{2k-1}{2l}-\sin\frac{2k-1}{2l}3\pi x\right).
\end{aligned}\qquad(1)$$

Используя метод разделения переменных, получаем:

$$\begin{cases}
\rho\left[I_x(z)\left(\frac{2k-1}{2l}\right)^2+F(z)\right]\frac{d^2\eta}{dt^2}+\left[EI_x\left(\frac{2k-1}{2l}\right)^4+T_0\left(\frac{2k-1}{2l}\right)^2\right]\eta(t)=\\
\qquad=\frac{ma^*\omega^2}{4m_0l}\sin^3\frac{2k-1}{2}\pi\sin\omega t\left(3\sin\frac{2k-1}{2l}-\sin\frac{2k-1}{2l}3\pi x\right)\\
\rho\left[I_y(z)\left(\frac{2k-1}{2l}\right)^2+F(z)\right]\frac{d^2\eta}{dt^2}+\left[EI_y\left(\frac{2k-1}{2l}\right)^4+T_0\left(\frac{2k-1}{2l}\right)^2\right]\eta(t)=\\
\qquad=\frac{ma^*\omega^2}{4m_0l}\sin^3\frac{2k-1}{2}\pi\sin\omega t\left(3\sin\frac{2k-1}{2l}-\sin\frac{2k-1}{2l}3\pi x\right)
\end{cases}\qquad(2)$$

$$\begin{cases}
\rho\left[I_x(z)\left(\frac{2k-1}{2l}3\pi\right)^2+F(z)\right]\frac{d^2\eta}{dt^2}=\frac{ma^*\omega^2}{4m_0l}\sin^3\frac{2k-1}{2}\pi\sin\omega t\left(3\sin\frac{2k-1}{2l}-\sin\frac{2k-1}{2l}3\pi x\right)\\
\rho\left[I_y(z)\left(\frac{2k-1}{2l}3\pi\right)^2+F(z)\right]\frac{d^2\eta}{dt^2}=\frac{ma^*\omega^2}{4m_0l}\sin^3\frac{2k-1}{2}\pi\sin\omega t\left(3\sin\frac{2k-1}{2l}-\sin\frac{2k-1}{2l}3\pi x\right).
\end{cases}$$

Решение системы уравнений относительно виброскоростей получено в следующем виде:

$$\begin{aligned}
&\mathrm{Re}\{\eta\}==\frac{ma^*\omega^2}{4m_0l}\sin^3\frac{2k-1}{2}\pi\sin\omega t\cos\omega t\times\\
&\times\left\langle\frac{3\left\{EI_x(z)\left(\frac{2k-1}{2l}\pi\right)^2+T_0\left(\frac{2k-1}{2l}\pi\right)^2-\rho\left[I_x(z)\left(\frac{2k-1}{2l}\pi\right)^2+F(z)\right]\right\}\omega^2}{\left\{EI_x(z)\left(\frac{2k-1}{2l}\pi\right)^2+T_0\left(\frac{2k-1}{2l}\pi\right)^2-\rho\left[I_x(z)\left(\frac{2k-1}{2l}\pi\right)^2+F(z)\right]\right\}\omega^2+\left(EI_x(z)\right)^2\left(\frac{2k-1}{2l}\pi\right)^8}-\right.
\end{aligned}$$

$$-\frac{3\left\{EI_x(z)\left(\frac{2k-1}{2l}3\pi\right)^2+T_0\left(\frac{2k-1}{2l}3\pi\right)^2-\rho\left[I_x(z)\left(\frac{2k-1}{2l}3\pi\right)^2+F(z)\right]\right\}\omega^2}{\left\{EI_x(z)\left(\frac{2k-1}{2l}3\pi\right)^2+T_0\left(\frac{2k-1}{2l}3\pi\right)^2-\rho\left[I_x(z)\left(\frac{2k-1}{2l}3\pi\right)^2+F(z)\right]\right\}\omega^2+\left(EI_x(z)\right)^2\left(\frac{2k-1}{2l}3\pi\right)^8}\Bigg\rangle$$

$$\mathrm{Re}\{\varepsilon\}==\frac{ma^*\omega^2}{4m_0l}\sin^3\frac{2k-1}{2}\pi\sin\omega t\cos\omega t\times$$

$$\times\Bigg\langle\frac{3\left\{EI_y(z)\left(\frac{2k-1}{2l}\pi\right)^2+T_0\left(\frac{2k-1}{2l}\pi\right)^2-\rho\left[I_y(z)\left(\frac{2k-1}{2l}\pi\right)^2+F(z)\right]\right\}\omega^2}{\left\{EI_y(z)\left(\frac{2k-1}{2l}\pi\right)^2+T_0\left(\frac{2k-1}{2l}\pi\right)^2-\rho\left[I_y(z)\left(\frac{2k-1}{2l}\pi\right)^2+F(z)\right]\right\}\omega^2+\left(EI_y(z)\right)^2\left(\frac{2k-1}{2l}\pi\right)^8}-$$

$$-\frac{3\left\{EI_y(z)\left(\frac{2k-1}{2l}3\pi\right)^2+T_0\left(\frac{2k-1}{2l}3\pi\right)^2-\rho\left[I_y(z)\left(\frac{2k-1}{2l}3\pi\right)^2+F(z)\right]\right\}\omega^2}{\left\{EI_y(z)\left(\frac{2k-1}{2l}3\pi\right)^2+T_0\left(\frac{2k-1}{2l}3\pi\right)^2-\rho\left[I_y(z)\left(\frac{2k-1}{2l}3\pi\right)^2+F(z)\right]\right\}\omega^2+\left(EI_y(z)\right)^2\left(\frac{2k-1}{2l}3\pi\right)^8}\Bigg\rangle$$

Тогда среднеквадратическое значение скорости определяется по формуле:

$$V=\sqrt{\left(\mathrm{Re}(\eta)\right)^2+\left(\mathrm{Re}(\varepsilon)\right)^2}\ . \tag{3}$$

Для принятых краевых условий определение собственных частот колебаний является задачей очень сложной. Для расчета октавных уровней звукового давления в особенности в области средних и высоких частот 500…8000 Гц вследствие широких полос пропускания октавных фильтров (тысячи Гц) принято допущение о возможности использования собственных мод колебаний шарнирно опертых оболочек и балок. В этом случае согласно данных работ [2,3] получена следующая система для заготовки типа оболочки

$$\begin{cases}E_x(z)\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-T_0\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2-\rho\left[I_x(z)\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F(z)\right]P_{k_1}{}^2=0\\ E_y(z)\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-T_0\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2-\rho\left[I_y(z)\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F(z)\right]P_{k_1}{}^2=0,\end{cases} \tag{4}$$

где P_{k_1} - круговые собственные частоты колебаний (р/с) и для изделий типа балок

$$P_k=\frac{\pi k}{l}\sqrt{\frac{T_0}{m_0}\left[1+\frac{EI_x}{T_0}\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2\right]}\ . \tag{5}$$

Аналогичным образом определим возбуждение вибраций для заготовки типа балки и тросов. Дифференциальное уравнение колебаний имеет вид:

$$EJ\frac{\partial^4 y}{\partial z^4}+m_0\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}-T_0\frac{\partial^2 y}{\partial z^2}=$$

$$= \frac{ma^*\omega^2}{4l}\sin^3\frac{2k-1}{2}\pi\sin\omega t\left(3\sin\frac{2k-1}{2l}\pi z - \sin\frac{2k-1}{2l}3\pi z\right). \qquad (6)$$

Производя аналогичные преобразования, получаем:

$$\begin{cases}\dfrac{d^2z}{dt^2}+\left[6\dfrac{EJ}{m_0}\left(\dfrac{2k-1}{l}\right)^4+2{,}5\dfrac{T_0}{m_0}\left(\dfrac{2k-1}{l}\right)^2\right]y=\dfrac{3ma\omega^2}{4m_0l}\sin^3\dfrac{2k-1}{2}\pi\sin\omega t \\ \dfrac{d^2z}{dt^2}+\left[486\dfrac{EJ}{m_0}\left(\dfrac{2k-1}{l}\right)^4+22{,}5\dfrac{T_0}{m_0}\left(\dfrac{2k-1}{l}\right)^2\right]y=\dfrac{ma\omega^2}{4m_0l}\sin^3\dfrac{2k-1}{2}\pi\sin\omega t\end{cases} \qquad (7)$$

$$\mathrm{Re}\{V\}=\frac{3ma\omega^3}{4m_0l}\sum_{k=1}^{\infty}\left[-(-1)^k\right]\left\{\frac{\left[6\dfrac{EJ}{m_0}\left(\dfrac{2k-1}{l}\right)^4+2{,}5\dfrac{T_0}{m_0}\left(\dfrac{2k-1}{l}\right)^2-\omega^2\right]\cos\omega t\sin\dfrac{2k-1}{2l}\pi z}{\left[6\dfrac{EJ}{m_0}\left(\dfrac{2k-1}{l}\right)^4+2{,}5\dfrac{T_0}{m_0}\left(\dfrac{2k-1}{l}\right)^2-\omega^2\right]^2+\left(6\dfrac{EJ}{m_0}\eta\right)^2\left(\dfrac{2k-1}{l}\right)^8}-\right.$$

$$\left.-\frac{\left[486\dfrac{EJ}{m_0}\left(\dfrac{2k-1}{l}\right)^4+22{,}5\dfrac{T_0}{m_0}\left(\dfrac{2k-1}{l}\right)^2-\omega^2\right]\cos\omega t\sin\dfrac{2k-1}{2l}3\pi z}{\left[486\dfrac{EJ}{m_0}\left(\dfrac{2k-1}{l}\right)^4+22{,}5\dfrac{T_0}{m_0}\left(\dfrac{2k-1}{l}\right)^2-\omega^2\right]^2+\left(486\dfrac{EJ}{m_0}\eta\right)^2\left(\dfrac{2k-1}{l}\right)^8}\right\}= \qquad (8)$$

$$= K_1\sin\frac{2k-1}{2l}\pi z - K_2\sin\frac{2k-1}{2l}3\pi z.$$

Выводы. Полученные зависимости позволяют теоретически рассчитать уровни виброскорости на каждой собственной моде колебаний, т.е. прогнозировать спектры вибраций на этапе проектирования подобного оборудования и участков динамических испытаний.

Библиографический список

1. Расчеты на прочность в машиностроении: справочник; под ред. С.Д.Пономарева. – М.: Машгиз, 1959. – 884 с.

2. Власов В.З. Избранные труды в 3-х томах. Т.2. / В.З. Власов. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 507 с.

3. Стрельченко С.Г. Виброакустические расчеты и проектирование систем шумозащиты при центробежно-ротационном наклепе. / С.Г. Стрельченко, А.Н.Чукарин, С.А Шамшура. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2005. – 164с.

Материал поступил в редакцию 10.02.09.

S.A.SHAMSHURA, A.N. CHUKARIN

MODELLING OF VIBRATIONS OF PRODUCTS AND CABLES AT DYNAMIC TESTS

In article the dynamic model of the stand of tests for cyclic durability of longerons of helicopters is considered. Dependences for the theoretical description of vibrations on basic elements such as itself испытуемое a product and cables of system of a tension are received.

ШАМШУРА Сергей Александрович (р.1977), доцент кафедры «Вертолетостроение» института управления и инноваций авиационной промышленности, кандидат технических наук (2006). Окончил Ростовский-на-Дону государственный университет путей сообщения (1999), а также механико-математический факультет Ростовского-на-Дону государственного университета (2000).
Область научных интересов: виброакустическая динамика технологического оборудования.
Имеет 20 научных публикаций.

ЧУКАРИН Александр Николаевич (р.1950), заведующий кафедрой «Технологическое оборудование» ДГТУ, доктор технических наук (1996), профессор. Окончил РИСХМ (1972).
Область научных интересов – виброакустическая динамика технологического оборудования.
Опубликовано около 140 научных работ.

aeroengdstu@lest.ru

УДК 631.354.60-210

В.В. РАДИН

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗЕРНОКОМБАЙНАХ ПРИ ОПТИМАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ПРИВОДОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

В статье предложено использовать линейные модели приводов комбайнов для построения типовой динамической характеристики, представляющей собой реакцию системы привода на единичное импульсное воздействие. Такая характеристика названа импульсной переходной функцией (ИПФ) привода комбайна. Получена аналитическая модель ИПФ и показан путь реализации стратегии оптимального проектирования параметров передач комбайнов по статистическим критериям.
Ключевые слова: *динамика привода, линейная модель, оптимизация процессов, оптимизация параметров, зернокомбайн, импульсная переходная функция.*

Введение. В проблеме оптимизации зерноуборочных комбайнов выделяют два направления: оптимизация процессов и параметров рабочих органов или элементов конструкций при проектировании и оптимальное управление технологическими процессами, протекающими в комбайне при функционировании.

В соответствии с первым направлением для приводов зернокомбайнов нами решены задачи выбора оптимальных параметров динамических систем, отображаемых различными аналитическими моделями. При этом большой практический интерес имеют задачи статистической оптимизации, основанные на критериях минимума среднего квадрата отклонения угловых скоростей рабочих органов комбайнов от номиналов, минимума суммы динамической и статической ошибок рассогласования кинематических режимов системы привода, максимума попадания угловых скоростей рабочих органов в заданный агротехническими допусками интервал [1].

Эти задачи являются по существу задачами синтеза оптимальных значений параметров динамической системы привода комбайна, находящегося под воздействием случайных нагрузок со стороны жатки и ходовой части комбайна. Они позволяют получить ответ на актуальный вопрос об оптимальном сочетании инерционных и энергетических параметров приводов комбайнов, обеспечивающих эффективную работу комбайна с соблюдением агродопусков на качество выполнения технологического процесса комбайна.

Использование для оптимизации процессов нелинейных аналитических моделей движения приводов рабочих органов комбайнов приводит к громоздким процедурам приближенного решения задачи Коши для

обыкновенных дифуравнений [2]. Возможно, однако, существенно упростить процедуру оптимизации параметров приводов, воспользовавшись линейными динамическими моделями приводов.

Постановка задачи формализации динамических процессов в приводах зернокомбайнов. Дифференциальные уравнения движения системы приводов запишем следующим образом [1,2]:

$$\left\{\frac{\dot{\varphi}_{01}}{M_{01}}\left[I_1+\sum_{k=1}^{3}I_{k+1}j_{ok}^2\left(1-2\xi_{ok}\right)-2\left[U\cdot\pi\left(t\right)+\upsilon m\left(t\right)\right]\right]\right\}\dot{\gamma}+$$

$$+\left\{\frac{\dot{\varphi}_{10}}{M_{01}}\left[2\dot{\varphi}\sum_{k=1}^{3}B\quad j_{ok}^3-h_o-\alpha^M\right]-\left[U\frac{d\pi\left(t\right)}{dt}+\frac{dm\left(t\right)}{dt}\right]\right\}\gamma=$$

$$=\frac{1}{M_{01}}\left\{\xi_0\left[j_{01}-\left(h_1\pm\Delta h_1\right)\right]\alpha_1 1\left(\pi-T_2\right)\pi\left(t\right)+q\sum_{x=1}^{4}\left[j_{o(x+1)}-\right.\right.$$

$$\left.\left.\left(h_{x+1}\pm\Delta h_{x+1}\right)\right]\alpha_{x+2}1\left(\pi-T_{x+2}\right)m\left(t\right)+\beta\cdot\mu.\right. \qquad (1)$$

Уравнение (1) получено для четырехмассовой модели привода зерноуборочного комбайна с классической схемой техпроцесса, является линеаризованным и в компактной форме принимает вид [1]:

$$H_1\left(t\right)\dot{\gamma}\left(t\right)+H_o\gamma\left(t\right)=-\sum_{k=1}^{3}\left[j_k-\left(h_k\pm\Delta h_k\right)\right]\Delta M_{k+1}+B\mu\,, \quad (2)$$

где принято $j_k=\left(j_{ok}-h_k\right)$ - передаточные числа кинематических трансляторов;

$$\Delta M_{k+1}=\begin{cases}\dfrac{1}{M_{01}}\dfrac{\partial M_{0(k+1)}}{\partial t}\Delta t, & k=1,\\ \dfrac{1}{M_{01}}\dfrac{\partial M_{0(k+1)}}{\partial t}\Delta q_{k+1}, & k=2,\ldots,s-1;\end{cases}$$

$$\Delta q_{k+1}=\Delta q\left(t-\tau_{k+1}\right)=\Delta q 1\left(t-\tau_{k+1}\right);$$

s – число неголономных связей в приводе комбайна;

Δq – приращение нагрузки q на рабочий орган в стационарном режиме работы комбайна;

M_i – крутящие моменты сил движущих и сопротивления на соответствующих валах;

$$H_1(t) = \frac{\dot{\varphi}_{01}}{M_{01}}\left(I_{\Pi}(t) + I_1\right);$$

$$H_0(t) = \frac{\dot{\varphi}_{01}}{M_{01}}\left(\frac{1}{2}\frac{dI_{\Pi}(t)}{dt} + 2\dot{\varphi}_{01}\sum_{k=1}^{s} B_{k+1} j_{ok}^3 - h_o - \frac{\partial M_{01}}{\partial \dot{\varphi}_1}\right),$$

$I_{\text{п}}$ (t) –приведенный к валу двигателя момент инерции привода;

$\dot{\gamma}(t)$, $\gamma(t)$ – угловое ускорение и угловая скорость коленвала двигателя зернокомбайна;

h_k, Δh_k – параметры кинематических схем приводов комбайнов.

Представим коэффициенты $H_i(t)$ состоящими из постоянных $\overline{H}_i$ и изменяющихся $\widetilde{H}_i$ частей, т.е.

$$H_i(t) = \overline{H}_i + \widetilde{H}_i. \qquad (3)$$

Тогда получим следующие выражения для коэффициентов H_i в уравнении (2):

$$\overline{H}_1 = \frac{\dot{\varphi}_{01}}{M_{01}}\left[I_1 + \sum_{k=1}^{3} I_{k+1} j_{ok}^2 \left(1 - 2\xi_{ok}\right)\right];$$

$$\tilde{H}_1 = 2\left[U\pi(t) + \nu m(t)\right];$$

$$U = 2\frac{\xi}{M_{01}} I_2 j_{02}^2 d_{12}\alpha_{12} 1(\pi - T_2);\ T_2 = \frac{\tau_2}{\xi_0};\ \pi = \frac{\Delta\xi}{\xi_0};$$

$$\varepsilon_{01} = 2d_{12}M_{02};\ \varepsilon_{02} = \sum_{x=1}^{2} d_{2(x+2)} M_{0(x+2)};$$

$$\varepsilon_{03} = \sum_{x=1}^{2} d_{2(x+2)} M_{0(x+2)} + d_{34}M_{04};$$

$$\upsilon = \frac{q_0}{M_{01}}\left[2\sum_{x=1}^{2} I_{x+2} j_{0(x+2)}^2 d_{2(x+2)}\alpha_{x+2} 1(\pi - T_{x+2})\right];$$

$$\overline{H}_0 = \frac{\dot{\varphi}_{01}}{M_{01}}\left[2\dot{\varphi}_{01}\sum_{k=1}^{2} B_{k+1} j_{ok}^3 - h_0 - \alpha_1^M\right],\ \alpha_1^M = \frac{\partial M_{01}}{\partial \dot{\varphi}},$$

$$\widetilde{H}_0 = -\left(U\frac{d\pi}{dt} + \upsilon\frac{dm}{dt} \right).$$

Методика определения ИПФ приводов зернокомбайнов. Импульсные переходные функции (ИПФ) приводов комбайнов представляют собой реакцию динамических систем, описываемых уравнением (1), на единичный импульс. Известно, что для линейных систем построение такой ИПФ позволяет определить реакцию системы на любое внешнее возмущение с помощью интеграла Дюамеля [2]. Поэтому ИПФ привода зернокомбайна позволяет произвести формализацию любого его динамического процесса, подлежащего оптимизации.

Подвергнем ИПФ системы $W(t,\xi)$ привода зернокомбайна условию физической возможности [3]:

$$W(t,\xi) \equiv O \begin{cases} при \;\; t < \xi \\ при \;\; \xi < O. \end{cases}$$

ИПФ зернокомбайна является решением дифференциального уравнения:

$$H_1(t)\frac{dw}{dt^2} + H_0(t)w = B\delta(t-\xi) - \sum_{k=1}^{s} a_{k+1}\delta(t-\xi_{k+i}), \quad (4)$$

где $a_{k+1} = \dfrac{\Delta M_{k+1}}{\Delta M_{10}}$; ξ_k - время запаздывания сигнала возмущения на к-м рабочем органе; $\delta(t-\xi)$ - функция Дирака.

После преобразований (3) и приведения внешнего воздействия только к подаче хлебной массы *q* уравнение (4) примет вид:

$$\overline{H}_1\frac{dW}{dt} + \overline{H}_0 W = -\delta(t-\xi) - r(t)\ , \quad (5)$$

где

$$r(t) = \widetilde{H}_1\frac{dW}{dt} + \widetilde{H}_0 W\ . \quad (6)$$

Выражение (6) приводим к виду:

$$r(t) = -\upsilon\left[2\psi(t)\frac{dW}{dt} + \frac{dW}{dt}W \right];\ \psi(t) \equiv \alpha \cdot t\,; \quad (7)$$

a – параметр внешнего воздействия.

Уравнение (5) сводится к интегральному уравнению Вольтера второго рода с помощью теоремы операционного исчисления о свертке функций [3], т.е.

$$W(S,\xi) = \Phi(S)R_2 e^{-S\xi} - F(s), \quad (8)$$

где принято:

$$\Phi(S)=\frac{1}{S+R_1};\ F(S)=L_t\left\{R_3 t\frac{dW}{dt}\right\};$$

$$R_1=\frac{\bar{H}_0+\upsilon\alpha}{\bar{H}_1};\ R_2=\frac{1}{\bar{H}_1};\ R_3=\frac{2\upsilon\alpha}{\bar{H}_1}.$$

Применяя теорему о свертке функций к уравнению (8), получаем интегральное уравнение Вольтера второго рода:

$$W(t,\xi)=\int_0^t\varphi(t-\xi)R_2\delta(t-\xi)d\xi-\int_0^t\varphi(t-\xi)\varphi(\xi)d\xi. \qquad (9)$$

Отыскивая решение уравнения (9) методом последовательных приближений, записываем его в виде следующего сходящегося ряда:

$$W(t,\xi)=W_0(t,\xi)-W_1(t,\xi)-..... \qquad (10)$$

Выполнив необходимые операции по определению каждого приближения ряда (10), получаем в замкнутой форме следующее выражение для ИПФ зерноуборочного комбайна:

$$W(t,\xi)=\frac{1}{\bar{H}_1}exp\left\{-\frac{\bar{H}_0+\upsilon\alpha}{\bar{H}_1}(t-\xi)\left[1-\frac{\upsilon\alpha}{\bar{H}_1}(t+\xi)\right]\right\}. \qquad (11)$$

Выражение (11) позволяет оценить динамику привода зернокомбайна, устойчивость движения приводов рабочих органов зерноуборочных комбайнов и служит математической моделью для построения целевых функций при статической оптимизации параметров приводов.

Выводы.

1. Полученная математическая модель привода зерноуборочного комбайна (11) представляет собой формализованный динамический процесс изменения во времени угловых скоростей двигателя и рабочих органов комбайна, т.е. реакцию на единичное импульсное воздействие.

2. Применяя интеграл Дюамеля, возможно построить динамическую реакцию привода зернокомбайна для любого другого типа внешнего воздействия на комбайн как со стороны подачи убираемой культуры, так и со стороны почвы.

3. Поскольку ИПФ (11) зависит только от технических характеристик и параметров комбайна и представляет линейную формализованную модель привода, то предлагается ее ввести в паспортные технические данные комбайна и использовать как показатель качества конструкции новой машины.

4. Стратегия оптимального проектирования систем приводов состоит в отыскании ИПФ реального комбайна, в получении параметрической сопряженной передаточной функции привода, соответствующей данной ИПФ, и в итеративном приближении параметров этой передаточной функ-

ции к параметрам оптимальной сопряженной передаточной функции, определенной по указанным выше критериям [1].

Библиографический список

1. Радин В.В. Теория оптимального проектирования мощности двигателя зерноуборочного комбайна. / В.В. Радин. – Ростов н/Д: РГАСХМ ГОУ, 2007. – 89 с.

2. Радин В.В. Динамика сложных машин как неголономных систем. / В.В. Радин, В.А. Бураков. – Ростов н/Д: РГАСХМ ГОУ, 2003. – 150 с.

3. Солодов А.В. Линейные автоматические системы с переменными параметрами. / А.В. Солодов, Ф.С. Петров. – М.: Наука, 1971. – 620 с.

4. Радин В.В. Методика и некоторые результаты аналитического исследования динамических процессов в приводах зерноуборочного комбайна. / В.В. Радин, Е.С. Босой. //Изв. вузов Сев.-Кав. региона. Сер. Технические науки.– Ростов н/Д. – 1976. – №4. – С.52-56.

Материал поступил в редакцию 23.03.09.

V.V. RADIN

FORMALISATION OF DYNAMIC PROCESSES IN GRAIN COMBINE AT OPTIMUM PROJECTION OF SYSTEMS OF DRIVES OF END-EFFECTORS

In paper it is offered to use the linear models of drives of combines to build the standard dynamic characteristic representing a response of system of a drive on a unit impulse excitation. Such performance is termed by a pulsing transition function of a drive of a combine p.t.f. The analytical model p.t.f. is gained. Also the path of implementation of the strategy of optimum projection of parametres of transmissions of combines by statistical measure is displayed.

РАДИН Виктор Викторович (р.1939), заведующий кафедрой «Сельхозмашины» Ростовской-на-Дону государственной академии сельхозмашиностроения, доктор технических наук (1991), профессор (1992). Окончил Ростовский-на-Дону институт сельхозмашиностроения (1962).
Научные интересы – динамика приводов сложных сельскохозяйственных машин.
Имеет 125 научных публикаций.

vvdudnik@rgashm.ru

УДК 664.724

В.С. КУНАКОВ, В.А. ТЫЗЫХЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ СИЛАМИ, ДЕЙСТВУЮЩИМИ НА ВЛАЖНЫЙ ЗЕРНОВОЙ МАТЕРИАЛ, НАХОДЯЩИЙСЯ В БУНКЕРЕ

В данной статье найдена взаимосвязь между силами, действующими во влажных зерновых материалах, определена степень влияния каждой из сил на состояние зерна в бункере, и экспериментально подтверждены силы сцепления зёрен между собой и стенками бункера.
Ключевые слова: *бункер сельскохозяйственного назначения, влажный зерновой материал, пирамидальная укладка, адгезия, аутогезия.*

Введение. При движении влажного зернового материала в бункере на него действуют внешние и внутренние силы. Поступающий в бункерные устройства зерновой материал практически никогда не является абсолютно сухим. Влага, которая содержится в нём, способствует возникновению сил граничного трения и сил сцепления зерен друг с другом (аутогезионные силы) и со стенками емкостей (адгезионные силы). Эти силы, в свою очередь, ухудшают истечение зернового материала, что приводит к простою мобильных машин при выгрузке бункерных устройств и к дополнительным затратам. Для решения такой проблемы необходимы теоретические и экспериментальные исследования влияния выше указанных сил на текучесть зерна с целью изыскания методов ускорения выгрузки накопительных ёмкостей сельскохозяйственного назначения.

Аутогезия частиц – это связь между соприкасающимися частицами, которая препятствует их разъединению. Величина аутогезии обусловлена рядом факторов, к числу которых относят свойства и размеры частиц, уплотняющую нагрузку, влажность материала и др. Аутогезионное взаимодействие реализуется не между отдельными изолированными частицами, а между множеством частиц, составляющих сыпучий материал. В этом случае суммарная сила аутогезии складывается из сил аутогезии, проявляющихся в индивидуальных контактах между частицами.

Термин «адгезия» может быть определён, как взаимодействие частиц сыпучего материала и твёрдой поверхности макроскопических тел.

Аутогезия и адгезия – это природные явления, в основе которых лежат физические законы. Эти силы могут быть различными по своей природе: молекулярными, электрическими или капиллярными. Часто они действуют одновременно, однако в зависимости от свойств и состояния сыпучего материала каждая из них может превалировать над другими. В работе [1] было показано существенное преобладание капиллярных сил адгезии во влажном зерновом материале по сравнению с молекулярными силами и силами электрической природы.

Для решения поставленной проблемы необходимо определить, какой вклад вносит в движение влажного зернового материала каждая из сил, действующих на него в бункере.

Постановка задачи. Основным объектом исследования в данной статье является дискретный элемент зернового материала в бункере, состоящий

из трёх слоёв: ведущего, ведомого и промежуточного. В работе предполагается провести анализ и определить взаимосвязь всех сил, действующих на материал.

Теоретическое обоснование. Решение задачи о силах проведём на модели пирамидальной укладки зернового материала. Чтобы представить себе пирамидальную укладку, предположим, что в системе шаров (зёрен) каждый шар ведущего слоя будет стремиться занять наиболее устойчивое наинизшее положение по отношению к промежуточному слою, соскальзывая под действием вертикальных сжимающих сил в углубление между шарами. При равномерном распределении шаров промежуточного слоя по площади поперечного сечения бункера каждый вышележащий шар будет опираться на три равноудалённых друг от друга смежных шара промежуточного слоя (рис.1). Такую пространственную укладку шаров называют пирамидальной, поскольку плоскости, проходящие через центры рассматриваемых шаров, образуют пирамиду, в основании которой лежит правильный треугольник.

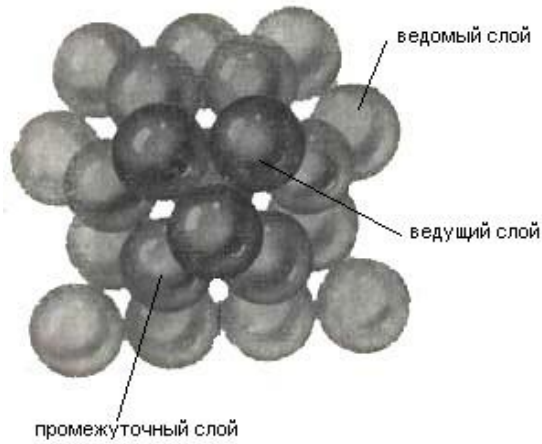


Рис.1. Пирамидальная укладка шаров

Впервые такая укладка была предложена профессором Л.В. Гячевым для определения сил и давлений в глубоких сельскохозяйственных емкостях.

При пирамидальной укладке каждый шар будет иметь двенадцать ближайших соседей – шесть в той плоскости, где он находится, три в плоскости над этим шаром и три в плоскости под ним.

Рассмотрим элемент зернового материала (рис.2, вид сверху), состоящий из 12 невесомых зёрен, 3 из которых A, B, C – зёрна ведущего слоя, зёрна 1, 2, 3, 4, 5, 6 – промежуточного слоя и шаров D, F, E – ведомого слоя. Шар D расположен под шаром A, шар F расположен под шаром C и шар E расположен под шаром B (на рис. 2 шары D, F и E не показаны). Силы P_i и Q_i направлены перпендикулярно плоскости чертежа, силы P_i приложены к шарам A, B и C, а силы Q_i приложены к шарам D, F и E.

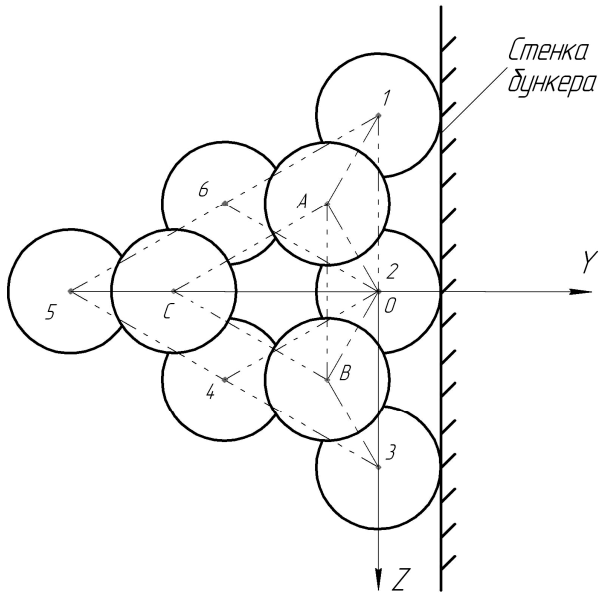


Рис.2. Схема пирамидальной укладки зёрен,
находящихся в бункере

У ведущего слоя направление вектора перемещения элемента совпадает с направлением действия внешней силы $\bar{P}_i = \sum \bar{P}_i$; у ведомого внешняя сила $\bar{Q}_i = \sum \bar{Q}_i$ противоположна скорости перемещения. Зёрна 1, 2 и 3 (промежуточного слоя) прилегают к стенке бункера.

Из рис. 2 видно, что усилие, действующее на шар 2 промежуточного слоя со стороны шара A ведущего слоя, направлено по прямой A2, соединяющей центры этих шаров, а усилие со стороны шара D, расположенного под шаром A (на рис.1 не показано), направлено по прямой D2. Прямая A2 составляет угол β с вертикальной осью OX, а её проекция на плоскость OYZ – угол 60^0 с плоскостью OXY (осью OY); прямая D2 также составляет угол β с вертикальной осью OX, а её проекция на плоскость OYZ – угол 60^0 с осью OY.

На рис.3 показаны силы, действующие на шар 2 (промежуточного слоя) со стороны шара A (ведущего слоя), шара D (ведомого слоя) и стенки бункера.

Основываясь на рис.3, составим уравнение проекции на вертикальную ось OX всех сил, действующих на промежуточный слой:

$$\sum X = R_1 * \cos\beta - R_2 * \cos\beta - R * \sin\alpha - T_1 * \sin\beta + T_2 * \sin\beta - \\ -T_S * \cos\alpha - F_1 * \cos\beta + F_2 * \cos\beta + F_S * \sin\alpha = 0, \qquad (1)$$

где α – угол между образующей бункера и осью OX; β – угол укладки зёрен.

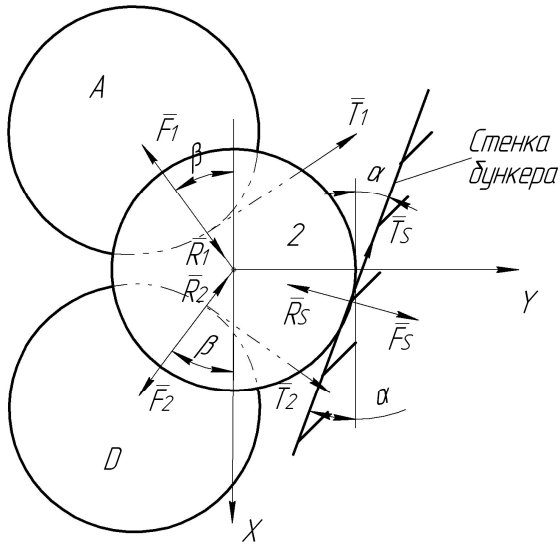


Рис.3. Силы, действующие на шар 2 со стороны шара A, шара D и стенки бункера (вид вдоль оси Z см. рис. 2)

Найдем чему равны силы, входящие в уравнение (1).

Полное усилие R_1, действующее со стороны ведущего слоя, будет равно:

$$\bar{R}_1 = \sum \frac{\bar{P}_i}{\cos\beta} = \frac{\bar{P}}{\cos\beta}, \tag{2}$$

где $\bar{P} = \sum \bar{P}_i$ – внешняя осевая сила, а $\bar{P}_i$ - сила, действующая на каждый шар ведущего слоя.

Полное усилие R_2, действующее со стороны ведомого слоя, будет равно:

$$\bar{R}_2 = \sum \frac{\bar{Q}_i}{\cos\beta} = \frac{\bar{Q}}{\cos\beta}, \tag{3}$$

где $\bar{Q} = \sum \bar{Q}_i$ - внешняя осевая сила, а $\bar{Q}_i$ – сила, действующая на каждый шар ведомого слоя.

Сила жидкостного трения T_1 зёрен промежуточного слоя с зёрнами ведущего слоя может быть определена:

$$\bar{T}_1 = N_1 \cdot c_1 \cdot \bar{v}_1, \tag{4}$$

где N_1 – число контактов зёрен ведущего и промежуточного слоёв;
c_1 – коэффициент, характеризующий свойства жидкостной плёнки;
v_1 – относительная скорость зёрен между ведущим и промежуточным слоями.

Аналогично найдём силу жидкостного трения T_2 между зёрнами промежуточного и ведомого слоёв:

$$\bar{T}_2 = N_2 \cdot c_2 \cdot \bar{v}_2, \quad (5)$$

где N_2 – число контактов зёрен ведомого и промежуточного слоёв; c_2 – коэффициент, характеризующий свойства жидкостной плёнки; v_2 – относительная скорость зёрен между промежуточным и ведомым слоями.

Коэффициенты, характеризующие свойства жидкостной плёнки, будут соответственно равны:

$$c_1 = \frac{\eta_0 \cdot S_1}{d_0}; \quad (6)$$

$$c_2 = \frac{\eta_0 \cdot S_2}{d_0}, \quad (7)$$

где η_0 – коэффициент вязкости жидкости; S_1, S_2 – площади контактных поверхностей зёрен; d_0 – толщина жидкостной плёнки.

Площади контактных поверхностей зёрен промежуточного слоя с зёрнами ведущего и ведомого слоём в первом приближении будем считать одинаковыми величинами $S_1 = S_2$ и тогда получим, что $c_1 = c_2$.

Силу жидкостного трения T_S зёрен промежуточного слоя о стенку бункера определим по формуле:

$$\bar{T}_S = n \cdot c_0 \cdot \bar{v}_S, \quad (8)$$

где n – число контактов зёрен промежуточного слоя со стенками бункера; v_S – скорость движения зёрен, прилегающих к стенке бункера; c_0 – коэффициент, характеризующий свойства жидкостной плёнки между зерном и стенкой бункера, который будет равен:

$$c_0 = \frac{\eta_0 \cdot S_S}{d_0}, \quad (9)$$

где S_S – площадь контактной поверхности зерен и стенки бункера.

Суммарные силы аутогезионного взаимодействия промежуточного слоя с ведущим и ведомым слоями будут равны:

$$\bar{F}_1 = N_1 \cdot \bar{F}_{аут}; \quad (10)$$

$$\bar{F}_2 = N_2 \cdot \bar{F}_{аут}, \quad (11)$$

где $\bar{F}_{аут}$ - сила аутогезионного взаимодействия между зёрнами.

Суммарная сила адгезионного взаимодействия между зерном и стенкой бункера может быть определена по формуле:

$$\bar{F}_S = n \cdot \bar{F}_{адг}, \quad (12)$$

где $\bar{F}_{адг}$ - сила взаимодействия между одним зерном и стенкой бункера.

Суммарная реакция R_s стенок бункера на промежуточный слой, направленная по нормали к стенке, была определена Л.В. Гячевым для послойной укладки [2]:

$$\bar{R}_s = \frac{\bar{R}_{yz}}{\cos\alpha} = (\bar{P} + \bar{Q}) \cdot \frac{tg\beta}{\cos\alpha},$$

где $\bar{R}_{yz} = (\bar{P} + \bar{Q}) \cdot tg\beta$ - суммарная горизонтальная сила, действующая на стенку бункера.

Однако при пирамидальной укладке (см.рис.2) усилия, действующие со стороны ведущего и ведомого слоёв в проекциях на плоскость OYZ, составляют угол 60^0 с осью OY, тогда суммарная горизонтальная сила в проекции на плоскость OYZ будет равна:

$$\bar{R}_{yz} = (\bar{P} + \bar{Q}) \cdot tg\beta \cdot \cos 60^0,$$

и формула (13) примет вид:

$$\bar{R}_s = \frac{\bar{R}_{yz}}{\cos\alpha} = (\bar{P} + \bar{Q}) * \frac{tg\beta}{\cos\alpha} * \cos 60^0. \qquad (13)$$

С учётом формул (2) – (12) и (13) выражение (1) будет иметь вид:

$$P - Q - (P + Q) \cdot tg\beta \cdot tg\alpha \cdot \cos 60^0 - N_1 \cdot c_1 \cdot v_1 \cdot \sin\beta + N_2 \cdot c_2 \cdot v_2 \cdot \sin\beta -$$
$$-n \cdot c_0 \cdot v_S \cdot \cos\alpha - N_1 \cdot F_{aym} \cdot \cos\beta + N_2 \cdot F_{aym} \cdot \cos\beta + n \cdot F_{adz} \cdot \sin\alpha = 0. \qquad (14)$$

Зная, что $Q=P-\Delta R_x$, где ΔR_x – приращение осевого усилия при переходе от сечения, соответствующего расположению ведущего слоя, с абсциссой x к сечению, соответствующему расположению ведомого слоя, с абсциссой x+Δx. Подставим значение Q в формулу (14):

$$\Delta R_x = \frac{2 \cdot (P \cdot tg\beta \cdot tg\alpha + N_1 \cdot c_1 \cdot v_1 \cdot \sin\beta - N_2 \cdot c_2 \cdot v_2 \cdot \sin\beta)}{2 + tg\beta \cdot tg\alpha} +$$
$$+ \frac{2 \cdot (n \cdot c_0 \cdot v_S \cdot \cos\alpha + N_1 \cdot F_{aym} \cdot \cos\beta - N_2 \cdot F_{aym} \cdot \cos\beta - n \cdot F_{adz} \cdot \sin\alpha)}{2 + tg\beta \cdot tg\alpha}. \qquad (15)$$

При граничном трении действуют силы сухого и жидкостного трения [3]. При вклинивании силы взаимодействия между зёрнами отклоняются от общих нормалей к зёрнам на угол внутреннего трения ψ в сторону возрастания угла укладки β, а силы реакции стенок бункера отклоняются от нормалей к стенке на угол внешнего трения φ в сторону возрастания угла наклона α стенок бункера к нормали. В таком случае выражение (15) примет вид:

$$\Delta R_x = \frac{2 \cdot (P \cdot tg(\beta + \psi) \cdot tg(\alpha + \varphi) + N_1 \cdot c_1 \cdot v_1 \cdot \sin\beta - N_2 \cdot c_2 \cdot v_2 \cdot \sin\beta)}{2 + tg(\beta + \psi) \cdot tg(\alpha + \varphi)} +$$
$$+ \frac{2 \cdot (n \cdot c_0 \cdot v_S \cdot \cos\alpha + N_1 \cdot F_{aym} \cdot \cos\beta - N_2 \cdot F_{aym} \cdot \cos\beta - n \cdot F_{adz} \cdot \sin\alpha)}{2 + tg(\beta + \psi) \cdot tg(\alpha + \varphi)}. \qquad (16)$$

Будем считать, что $c_1=c_2$ и $v_1=v_2$, тогда выражение (16) примет вид:

$$\Delta R_x = \frac{2 \cdot (P \cdot tg(\beta + \psi) \cdot tg(\alpha + \varphi) + c_1 \cdot v_1 \cdot \sin\beta(N_1 - N_2))}{2 + tg(\beta + \psi) \cdot tg(\alpha + \varphi)} +$$

$$+\frac{2\cdot(n\cdot c_0\cdot v_S\cdot\cos\alpha+F_{аут}\cdot\cos\beta\cdot(N_1-N_2)-n\cdot F_{адг}\cdot\sin\alpha)}{2+tg(\beta+\psi)\cdot tg(\alpha+\varphi)}. \quad (17)$$

Используя данные таблицы и физико-механические свойства пшеницы из работ [1] и [4], проведём анализ значения ΔR_x по формуле (17) для бункера с углом наклона стенки $\alpha=34.6^0$ и радиусом выпускного отверстия, равным 15 см:

$$\Delta R_x=\frac{2\cdot(P\cdot 1.03+6.26+2.3+0.038-0.00047)}{3.03}. \quad (18)$$

Сравнивая выражения (17) и (18), видим, что наибольший вклад вносит сила жидкостного трения между зёрнами, а наименьший – сила адгезии.

Из формулы (18) получим:

$$\Delta R_x=(0.68\cdot P+5.67)\ H. \quad (19)$$

Из полученного выражения (19) сделаем следующие выводы:

1. Если $\Delta R_x<G$, где G – сила тяжести элемента, то при таком соотношение сил зерновой материал обладает текучестью и перемещается в бункере без формирования застоя.

2. Если $\Delta R_x=G$, то это условие равновесия элемента.

3. Если $\Delta R_x>G$, получаем условие самоторможения выделенного элемента.

Методы испытаний. Для экспериментального определения сил аутогезии авторами был разработан метод (рис.4), который заключался в следующем: к свободно подвешенной совокупности зёрен, которые были закреплены на лёгкой металлической подложке 1 с помощью пластилина, подносилась подвешенная пластина 2, на которой тоже имелась закреплённая совокупность зёрен. Сближение пластин 1 и 2 производилось до момента возникновения контакта закреплённых на них зёрен. Затем пластину 2 перемещали в направлении, перпендикулярном плоскости контакта.

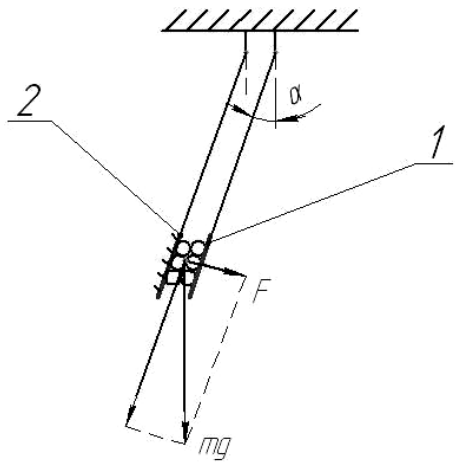


Рис.4. Принципиальная схема
метода определения силы аутогезии

Для определения угла α отклонения подложки с зёрнами необходимо измерить расстояние максимального отклонения x подложки с зерном и длину нити L, на которой она подвешена. Отклонение даёт возможность определить суммарную силу аутогезии по формуле:

$$F = m \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (20)$$

где m – масса подвешенных зёрен; g – ускорение свободного падения.

В формуле (20) не учитывается масса подложки, поскольку она выполнена из тонкого пластика, и её масса значительно меньше массы подвешенных на ней зёрен.

Чтобы определить силу аутогезии, приходящуюся на одно зерно $F_{аут.ед.}$, необходимо найти отношение силы, полученной по формуле (20), к количеству контактировавших зёрен N:

$$F_{аут.\ ед.} = F/N.$$

При определении силы адгезии необходимо убрать зёрна с площадки 2, а все расчёты по определению силы адгезии выполняются аналогично расчётам при определении аутогезии.

Результаты экспериментов и их обсуждение. При проведении практических экспериментов число повторностей определения каждой из сил при различной влажности равнялось 7. Среднестатистические результаты, полученные после проведения опытов по определению сил адгезии и аутогезии, приходящиеся на одну зерновку, представлены в таблице.

Результаты экспериментов

Данные полученные при определение сил аутогезии							
Вид зерна	Влажность, %	Масса10^{-4} кг	sinα	$F_{аут}$, 10^{-4} Н	Количество зёрен	$F_{аут.ед.}$, 10^{-4} Н	ε, %
пшеница	15	2.1	0.021	0.43	4	0.1	6.9
пшеница	20	2.3	0.029	0.65	4	0.16	6.6
пшеница	25	2.5	0.037	0.9	4	0.23	6.5
пшеница	30	2.8	0.048	1.3	4	0.33	6.2
подсолнечник	15	3.2	0.026	0.82	4	0.21	5.6
подсолнечник	20	3.8	0.039	1.5	4	0.38	5.4
подсолнечник	25	4.2	0.047	1.9	4	0.48	5.3
подсолнечник	30	4.7	0.058	2.7	4	0.68	5.0
Данные полученные при определение сил адгезии							
				$F_{адг}$, 10^{-4} Н		$F_{адг.ед.}$, 10^{-4} Н	
пшеница	15	1	0.003	0.03	2	0.015	10.8
пшеница	20	1.1	0.005	0.054	2	0.027	10.5
пшеница	25	1.3	0.01	0.13	2	0.065	10.3
пшеница	30	1.5	0.016	0.24	2	0.12	10.1
подсолнечник	15	1.6	0.005	0.082	2	0.04	9.7
подсолнечник	20	1.8	0.01	0.18	2	0.09	9.6
подсолнечник	25	1.9	0.013	0.24	2	0.12	9.5
подсолнечник	30	2.1	0.018	0.37	2	0.19	9.1

Проанализировав данные таблицы, можно сделать вывод о том, что с увеличением влажности зернового материала происходит увеличение сил аутогезии и адгезии, но для различных зерновых материалов эти силы различны. Силы адгезии и аутогезии, действующие на одно зерно в бункере, заполненном подсолнечником, превышают силы адгезии и аутогезии, приходящиеся на одно зерно, действующие в бункере, запол-

ненном пшеницей. Отношение силы адгезии к силе аутогезии на одно зерно для пшеницы 15%-ной влажности составляет 0.15, а для пшеницы 30%-ной влажности оно равно 0.36, для подсолнечника 15%-ной это соотношение сил равно 0.19, для подсолнечника 30%-ной влажности отношение сил адгезии к аутогезии равно 0.28. Основываясь на этих данных, можно сделать вывод, что более значительное влияние на влажный зерновой материал при движение его в бункере оказывает сила сцепления зёрен друг с другом (сила аутогезии).

Выводы. В результате экспериментов удалось определить, какой вклад вносит каждая из сил, действующих на выделенный элемент влажного зернового материала, и установлено, что наибольшее влияние на зерновой материал оказывает сила жидкостного трения между зёрнами, а наименьшее – сила адгезии. Были определены также условия движения, равновесия и самоторможения элемента зернового материала.

Библиографический список

1. Кунаков В.С. Интенсификация процессов выгрузки сводообразующих зерновых материалов: дис…. докт. техн. наук. / В.С. Кунаков. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1998. – 407 с.

2. Гячев Л.В. Основы теории бункеров. / Л.В. Гячев. – Новосибирск: Изд-во Новосибирского университета. – 1992. – 311 с.

3. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. / А.С. Ахматов. – М.: Физматгиз, 1968. – 473 с.

4. Гордеева А.Б. Слёживаемость зерновых материалов и разгрузка глубоких сельскохозяйственных ёмкостей: дис…. канд. техн. наук. / А.Б. Гордеева. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2007 – 196 с.

Материал поступил в редакцию 2.03.09.

V. S. KUNAKOV, V. A. TYZYKHYAN

DEFINITION OF INTERRELATION BETWEEN THE FORCES WORKING ON THE DAMP GRAIN MATERIAL THE BUNKER

The interrelation between forces acting in damp grain materials is defined. Also the rate of each force influence on grain condition in the bunker is calculated and the grain and grain-bunker coupling forces are determined experimentally.

КУНАКОВ Виктор Стефанович (р.1946), заведующий кафедрой «Физика» ДГТУ, доктор технических наук, профессор. Окончил РГПИ (1965).
Научные интересы: механика сыпучих материалов.
Имеет более 100 научных публикаций.

ТЫЗЫХЯН Владимир Асватурович (р.1986), аспирант ДГТУ. Окончил ДГТУ (2008).
Научные интересы: механика сыпучих материалов.
Имеет 2 публикации в области механики сыпучих материалов.

aspirant1986@rambler.ru

УДК 631.362.001.573

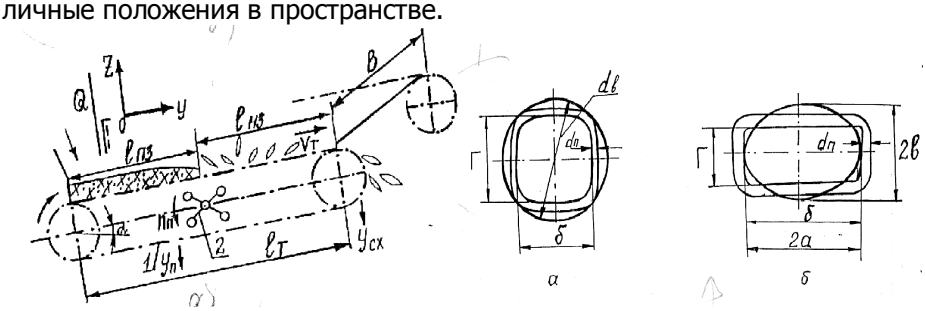
Ю.И.ЕРМОЛЬЕВ, Г.И.ЛУКИНОВ

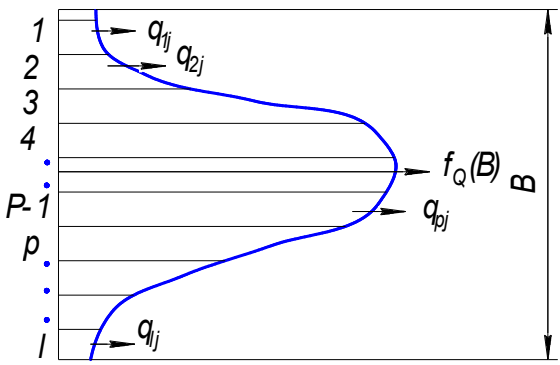
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СЕПАРАЦИИ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА

Приведен общий подход построения стохастической функциональной многомерной аналитической модели, описывающей системную сепарацию сыпучих материалов на транспортерном скельператоре, выполняющем одну из частных операций в зерноочистительных машинах для предварительной очистки зерна.
Ключевые слова: *частные операции, синтез систем, математическая модель, транспортер-скельператор, показатели сепарации.*

Введение. Для выделения из зерновых отходов зерна, недомолоченных колосков целесообразно использовать скельператорные сепараторы, обладающие высокой технологической и технической надежностью [1]. Для оценки процесса сепарации зерновых отходов на транспортерном скельператоре (ТС) в данной статье предложен метод моделирования этой частной технологической операции.

Теоретическое обоснование. Сыпучая гетерогенная среда, содержащая α_j - компонентов зернового вороха с подачей Q, перемещается ТС 1, постоянно подбрасываясь на нем с помощью подбивальщика 2 (рис.1), при опускании на ТС компоненты вороха занимают равновероятностные различные положения в пространстве.





в)

Рис.1. Функциональная схема транспортера – скельператора: а – функциональная схема ТС; б – отверстие сетки ТС; в – плотность вероятности $f_Q(B)$ распределения подачи Q зернового вороха по ширине B ТС

Вводим известное [2] допущение, при котором верхняя ветвь транспортера – скельператора приподнимается и опускается под действием встряхивателя, сохраняя параллельность исходному положению. Имеющиеся в зерновом ворохе крупные примеси, размеры которых по ширине больше чем большая сторона отверстия $\left(b_{шj} \rangle \Gamma, b_{ш} \rangle b\right)$ (или диаметра $b_{шj} \rangle d$ отв.) (рис. 1,2), и часть примесей, способных пройти через отверстия ТС, но не прошедшие, выносится ТС в сход ($Q_{сх}$).

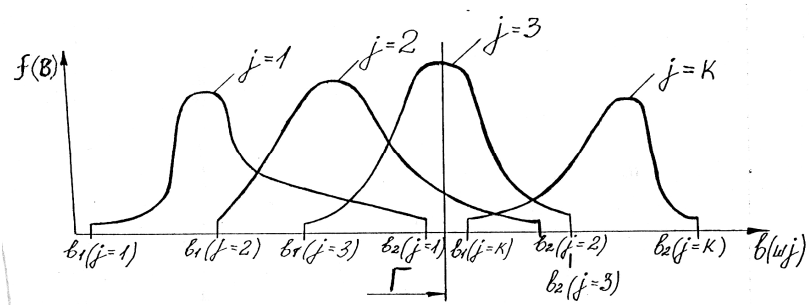


Рис.2. Плотность вероятности распределения
по ширине $b_{iшш}$ j-х компонентов зернового вороха

Мелкие и часть длинных компонентов зернового вороха $b_{шj} \langle \Gamma(б, d)$ проходят отверстия ТС и идут в проходовую фракцию ($У_{пр.}$).

Длинные компоненты зернового вороха, длина которых $l_j \rangle \Gamma(б, d)$, опускаясь на рабочую поверхность ТС, могут занимать такие положения в пространстве, которые способствуют проходу и проходят в проходовую фракцию ($У_{пр.}$). Часть из них не способны пройти эти отверстия и выводятся в сход (фракция $У_{сх}$).

Основными геометрическими параметрами транспортерной сетки скельператора являются размеры ее отверстия б х Г, толщина $d_п$ проволоки сетки, длина $l_т$ и ширина В транспортера, угол α наклона его к горизонту. Отверстия сетки (допущение) с учетом значительных радиусов внутреннего изгиба проволоки можно представить в виде окружности (для б=*Г*) или эллипса (б>Г, Г>б) (см.рис.1).

Построение математической модели. Математическую модель процесса функционирования ТС (см.рис.1) в зерноочистительной машине как замкнутой квазистатичной системы с заданной K_{TC}-й функциональной схемой в общем виде можно записать [3,4]:

$$E_Ф = \{\vec{F}_{ТС}, \overrightarrow{A_{ТС}}, G_δ\left[k_{δТС}(x) Т_{δТС}(X)\right]\} \rightarrow \max \text{ (функция цели),} \quad (1)$$

где $G_δ\left[K_{δTC}(x), T_{δTC}(x)\right]$- математическая модель, определяющая показатели технологического процесса на ТС.

$$\overline{A}_{ТС} \subset \overline{A}_{ОТС}\ ,\ \overline{F}_{ТС} \subset \vec{F}_{ОТС}\ ,\quad x \in G_{ТС}(x,и); \quad (2)$$

$$b_j \le [b_j], \quad \delta_з \le [\delta_з]. \tag{3}$$

Здесь $\vec{F}_{TC}$ - вектор подмножества всех $\vec{F}_{OTC}$ входных воздействий на принятую в ТС систему операций (рис.3.)

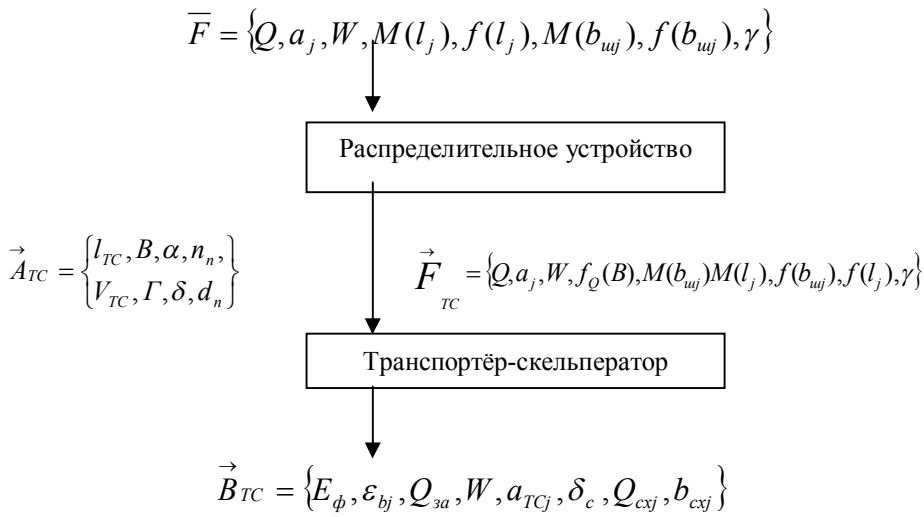


Рис. 3. Структурная схема транспортёра-скельператора

На рис.3: W - влажность зернового вороха; $M(l_j)$ и $M(b_{шj})$ - математическое ожидание размеров длины и ширины, признаков разделения j-х компонентов и плотности $f(l_j), f(b_{шj})$ вероятности распределения этих случайных величин; $f_Q(B)$ - плотность вероятности распределения подачи Q зернового материала по ширине B рабочего органа ТС; $\vec{A}_{TC}$ - вектор управляющих факторов ТС, обеспечивающих её функционирование; n_n - частота ударов подбивальника рабочей ветви ТС; V_{TC} - линейная скорость рабочей ветви ТС; x – набор технологических операций из $G_{TC}(x,u)$ множества, реализуемых в $k_{\delta M}$ функциональной схеме ТС (см.рис.1) .

Выходные показатели функционирования ТС определяются вектором $\vec{B}_{TC}$, независимые аргументы которого случайные в вероятностно-статистическом смысле величины (см.рис.3), где $E_Ф$- критерий эффективности реализации технологического процесса ТС; ε_{bj} - полнота выделения из зернового вороха j-х компонентов; α_{TCj} - содержание в очищенной фракции $Q_{зО}$ j-х компонентов; δ_C - потери семян в сход ТС; Q_{CXj} - массы выхода в сход j-х компонентов; b_{CXj} - содержание j-х компонентов в сходовой фракции.

Обоснуем математическую модель $G_{\delta}\left[K_{\delta TC}(x), T_{\delta TC}(x)\right]$ ТС.

При функционировании рабочую поверхность транспортера-скельператора можно по длине l_T разделить на два участка: первый – с полной загрузкой зернового вороха, $l_{пз}$, второй с неполной загрузкой, $l_{пз}$ (см.рис.1,а).

В общем виде на ТС поступает $q_{1j}, q_{2j}, \ldots, q_{lj}$ количество j-го компонента зернового вороха с его торцов, определяемое плотностью вероятности распределения $f_Q(B)$ случайной величины Q по ширине B ТС, $f_Q(B)$ (см.рис.1,в).

Приняв известную гипотезу об аддитивности процесса сепарации зернового вороха на p-х участках (см.рис.1,в) ширины ТС, полноту просеивания j-го компонента на ТС определим известным выражением [2]

$$\varepsilon_j = \frac{\sum_{p=1}^{l} q_p a_{jp} \varepsilon_{jp}(q_P)}{Q a_j l}, \tag{4}$$

где

$$q_p = \frac{BQ}{\kappa} P_{Qp} \tag{5}$$

q_p - приведенная подача зернового вороха на p-й участок (по ширине В) (p=1,2,...,l) ТС; $\kappa = \frac{B}{l}$) ; k - ширина p-го участка ТС; P_{Qp} - вероятность попадания случайной величины Q на p-й участок по ширине В рабочей части ТС.

Очевидно, что величина P_{Qp} при известных $f_Q(B)$ определяется из выражения (см.рис.1,в)

$$P_{!QP} = \frac{\int_{p-1}^{p} f_Q(B) dB}{\int_{p=1}^{l} f_Q(B) dB}. \tag{6}$$

С учетом выражений (4) и (6) получена [4] общая зависимость полноты просеивания j-го компонента ε_j на ТС

$$\varepsilon_j = \frac{\sum_{p=1}^{l} Q \cdot \frac{\int_{p-1}^{p} f_Q(B) dB}{\int_{p=1}^{l} f_Q(B) dB} \cdot a_{jp} \cdot \varepsilon_{jp}(q_p)}{\sum_j Q \cdot a_j}. \tag{7}$$

Общая полнота просеивания j-го компонента на всей длине l_{TC} ТС на р-х участках его ширины В определяется из выражения

$$\varepsilon_{jp} = \varepsilon_{1jp} + (1 - \varepsilon_{1jp})\varepsilon_{2jp}, \quad (8)$$

где ε_{1jp} и ε_{2jp} - полнота просеивания j-го компонента зернового вороха на р-м участке ширины ТС соответственно на первой и второй частях ТС по его длине.

На р-м участке по длине первой части ТС можно представить в виде двух расположенных друг над другом и неоднородных по высоте условных решет равной длины $l_{пз}$, обладающих каждое отличным от другого, но постоянным для отдельного условного решета коэффициентом сепарации μ_{ijp}. Для первого верхнего решета, образованного слоем зернового вороха с равномерным распределением в нем j-х компонентов (зерно, дробленые колоски, минеральные примеси, дробленая соломка, дробленые стебли растений…) получено [4]

$$\mu_{1jP} = \frac{V_{zjP}\int_0^{l_{пз}} \frac{dY}{z(Y)_P}}{l_{пз} \cdot V_{TC}}, \quad (9)$$

где f=z(У)$_P$ - уравнение линии, ограничивающей сверху слой зернового вороха на р-м участке ширины ТС по длине $l_{пз}$ (рис.4); V_{zjP} - составляющая средней скорости относительного перемещения (опускание к поверхности транспортера) j-го компонента на р-м участке ширины ТС в слое вороха; V_{TC} -относительная скорость рабочей ветви ТС.

Приняв (допущение) зависимость f=z(У)$_P$ в виде линейной

$$z(Y)_P = h_{OP}\left(1 - \frac{Y}{l_{пз}}\right), \quad (10)$$

получим

$$\mu_{1jP} = \frac{0,693\ V_{zjP}}{V_{TC} \cdot h_{OP}}, \quad (11)$$

где

$$h_{OP} = \frac{q_P}{\rho \cdot B \cdot V_{TC}}, \text{ м.} \quad (12)$$

Длину первого участка $l_{пз}$ найдем из выражений [1], определяющих «незатрудненное» просеивание основного компонента зернового вороха, для полной загрузки транспортера-скельператора

$$\varepsilon_{j(1)P} = 1 - \left(8/\pi^2\right)\exp\left[-\pi^2/16\left[H(l)_j\right]^2\right], \quad (13)$$

где

$$H(l)_j = \frac{q_p}{\rho \cdot B\sqrt{2 \cdot b_j \cdot l_{пзр} \cdot V_j}}; \quad (14)$$

$$b_j = \frac{q_p^{\,2}}{2\rho^2 \cdot B^2 \cdot l_{пзр} \cdot V_j \cdot H_j^2}; \qquad (15)$$

$$\mathrm{H_j} = \sqrt{\frac{\pi^2}{16\left[\ln\left(8/\pi^2\right) - \ln\left(1-\varepsilon_{\mathrm{jp}}\right)\right]}}. \qquad (16)$$

Приняв для основного зерна ε_{jp}≈0,98 и варьируя параметром $l_{нрз}$, находим $l_{пзр}$, при котором расчетная величина $\varepsilon_{\mathrm{j(l)p}}$, определяемая из выражения (13), составит $\varepsilon_{j(l)p}$=0,98±Δ ε_j (Δ ε_j≈0,02).

Для определения средней скорости V_{zjp} рассмотрена схема перемещения центров инерции тел j-х компонентов в слое зернового материала на ТС (рис.4) и получено выражение [4]

$$V_{zjp} = \frac{q_p \cdot a_j \int_0^{h_{op}} zy(z)_{jp}\, dz}{\int_0^{h_{op}} y(z)_{jp}\, dz \cdot \frac{l_{пзр}}{4V_m} \cdot q_p a_j \left[1 + 3\left(1 - \int_0^{l_{пз}} z(y)_{jp}\, dy\right)\right] \cdot \Delta t}, \qquad (17)$$

где z(y) $_{jp}$ - дифференциальный закон просеиваемости j-го компонента на длине $l_{пэр}$ р-го участка ширины ТС.

Для условий равномерного распределения j-го компонента по высоте в начале слоя (см. рис.4)

$$\mathrm{V_{zjp}} = \frac{\mathrm{h_{op}}}{\frac{\mathrm{l_{пзр}}}{2\mathrm{V_{TC}}}\left[1 + 3\left(1 - \int_0^{\mathrm{l_{пзр}}} \mathrm{z(y)_{jp}\, dy}\right)\right] \cdot \Delta \mathrm{t}} \qquad (18)$$

или, подставив сюда h_{op} из (12), получим

$$\mathrm{V_{zjp}} = \frac{\mathrm{q_p}}{\rho \cdot \mathrm{B} \cdot \mathrm{V_{TC}} \cdot \frac{\mathrm{l_{пзр}}}{2\mathrm{V_{TC}}} \cdot \mathrm{q_p a_j}\left[1 + 3\left(1 - \int_0^{\mathrm{l_{пз}}} \mathrm{z(y)_{jp}\, dy}\right)\right] \cdot \Delta \mathrm{t}}. \qquad (19)$$

Найденные величины $l_{пзр}$ и V_{zjp} определяют величину μ_{1jp} (9).

Величина коэффициента сепарации второго «условного» решета будет

$$\mu_{2\,jp} = \frac{P_{2/1\,j}}{\Delta У_{2\,j}}, \qquad (20)$$

принимаем, что

$$\Delta У_{2j} = \frac{V_T}{n}. \qquad (21)$$

$P_{2/1j}$ - вероятность прохода j-го компонента зернового вороха через второе «условное» решето - транспортер-скельператор представим в виде произведения вероятностей несовместных событий

$$P_{2/1j} = P_{3/1j} \cdot P_{6/5j}, \qquad (22)$$

где $P_{3/1j}$ - вероятность j-му компоненту (bшj<Г) попасть своим центром масс в отверстие транспортера; $P_{6/5j}$ - вероятность j-му компоненту длиной l_j, центр масс которого попал в зону отверстия, перемещаясь под углом δ к транспортеру ($0 \le \delta \le \pi/2$), пройти через круглое или эллиптическое отверстие за период одного встряхивания ветви транспортера.

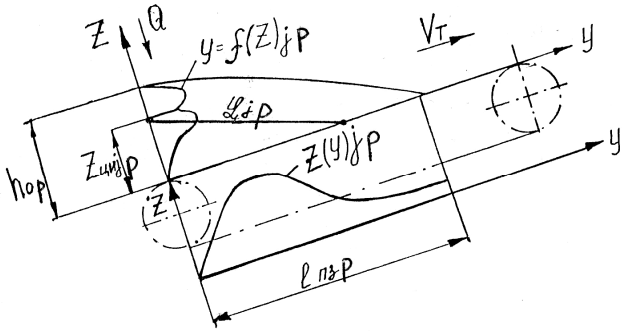


Рис.4. Схема для определения средней относительной скорости перемещения j-го компонента в слое зернового вороха на транспортере-скельператоре: h_{op} - толщина слоя зернового вороха на р-м участке в начале ТС

$P_{3/1j}=\mu$-условное «живое» сечение рабочей ветви транспортера-скельператора в плоскости, перпендикулярной вектору скорости V_j опускания j-го компонента на транспортер [4].

$$P_{3/1j} = \mu = \frac{\delta \cdot \Gamma \cdot \cos\alpha}{(\delta \cdot \cos\alpha + d_n)(\Gamma + d_n)}. \qquad (23)$$

Для оценки величин вероятностей $P_{6/5j}$ используем известные закономерности [1,4].

При условии содержания К компонентов (j=1,2…., К) в исходном зерновом ворохе с известными плотностями вероятности $f(b_{шj})$ распределения по ширине (см.рис.2) и задаваемой шириной $б (б < \Gamma)$ (или при $\Gamma < б$) (см.рис.1,б) отверстий ТС вероятностная доля γ_j j-х компонентов, способных пройти отверстия (шириной Г) ТС, будет

$$\gamma_j = \frac{\int_{b_{1(j)}}^{\Gamma} f(b_{шj})\,db}{\int_{b_{1(j)}}^{b_{2(j)}} f(b_{шj})\,db}, \quad b_{2(j)} < \Gamma \rightarrow \gamma_j = 1. \qquad (24)$$

Тогда часть j-х компонентов в зерновом ворохе, неспособных пройти отверстия ТС и выносимые в сход Q_{cxj}, определяется из выражения

$$Q_{cxj} = Q \cdot a_j (1 - \gamma_j). \quad (25)$$

Для этих условий полноту просеивания ε_{1jp} j-го компонента зернового вороха на р-м участке ширины ТС длиной $l_{пз}$ определим выражением [1]

$$\varepsilon_{1jp} = \frac{\mu_{2jp} \exp(-\mu_{1jp} l_{пз}) - \mu_{1jp} \exp(-\mu_{2jp})}{\mu_{2jp} - \mu_{1jp}}. \quad (26)$$

Полнота просеивания j-го компонента зернового вороха на втором участке ε_{2j} длиной $l_{нз}$ (см.рис.1,а) определяется из выражения (4), где ε_{jp} находим из выражения (26) при $\mu_{1jp}(l) = 1$; $\mu_{2jp}(l)$ определим из выражения (20), а $l_{пзр}$ заменим на $l_{нзр}$. ($l_{нзр} = l_T - l_{пзр}$).

Просеивание в единицу времени j-го компонента Y_{nj} и всего $Q_{зо}$ зернового вороха по всей длине ТС и содержание a_{TCj} в очищенной фракции j-го компонента находим из выражений:

$$У_{nj} = Q a_j \gamma_j \varepsilon_j; \quad (27)$$

$$Q_{зо} = \sum_j У_{nj}; \quad (28)$$

$$a_{TCj} = \frac{У_{nj}}{Q_{за}}. \quad (29)$$

Полнота схода ε_{CXj} j-го компонента с ТС с учетом известной вероятностной доли γ_j j-х компонентов, способных пройти его отверстия, будет

$$\varepsilon_{cxj} = \gamma_j (1 - \varepsilon_j) + (1 - \gamma_j), \quad (30)$$

а сход с ТС в единицу времени j-го компонента Q_{CXj} и сходовой части Q_{CX} зернового вороха:

$$Q_{cxj} = Q a_j \varepsilon_{cxj}; \quad (31)$$

$$Q_{cx} = \sum_j У_{cxj}. \quad (32)$$

Методы реализации исследований. Используя детерминированную вероятностную математическую модель процесса сепарации зернового вороха на транспортерном скельператоре, принятый критерий *Еф* [3] эффективности сепарации, ограничения на аргументы векторов $\vec{F}_{TC}$, $\vec{A}_{TC}$, $\vec{B}_{TC}$ и метод нелинейного программирования, разработаны алгоритм и программа многомерного анализа показателей функционирования ТС и синтеза его рациональных параметров для заданных условий функционирования.

На первом этапе проведен многомерный анализ влияния размеров Г(δ) квадратных отверстий транспортерного скельператора на показатели процесса сепарации зернового вороха, полученного сходом с верхних сор-

тировальных решет воздушно-решетных зерноочистительных машин при вариации подачи 1,8≤ Q ≤3,0 кг/(м·с), заданных величин аргументов вектора $\vec{A}_{TC}$ (см.рис.3) управляющих факторов и условий перемещения j-х компонентов зернового вороха по сетке ТС с подбрасыванием.

Полученные показатели функционирования (рис.5) указывают на существенное влияние размеров отверстий сетки ТС на показатели очистки зернового вороха.

Например (см.рис.5), при Г(δ)=12х12 мм и вариации Q=1,8-3,0 кг/(м·с) полнота выделения из зернового вороха сходом крупных минеральных примесей $\varepsilon_{bкр.мин.}$=82,2-82,6 %, соломистых примесей $\varepsilon_{bсол.}$=63,0-68,9%, колосков-$\varepsilon_{bкол.}$ =60,6-67,2%, корзин осота $\varepsilon_{bкор}$ =49,7-59,4%. При Г(δ)=30х30 мм-$\varepsilon_{bкр.мин}$ =1,8-7,4%, $\varepsilon_{bсол.}$=33,9-44,8%, $\varepsilon_{bкол}$ =30,5-41,7%, $\varepsilon_{bкор}$ =17,7-28,9%.

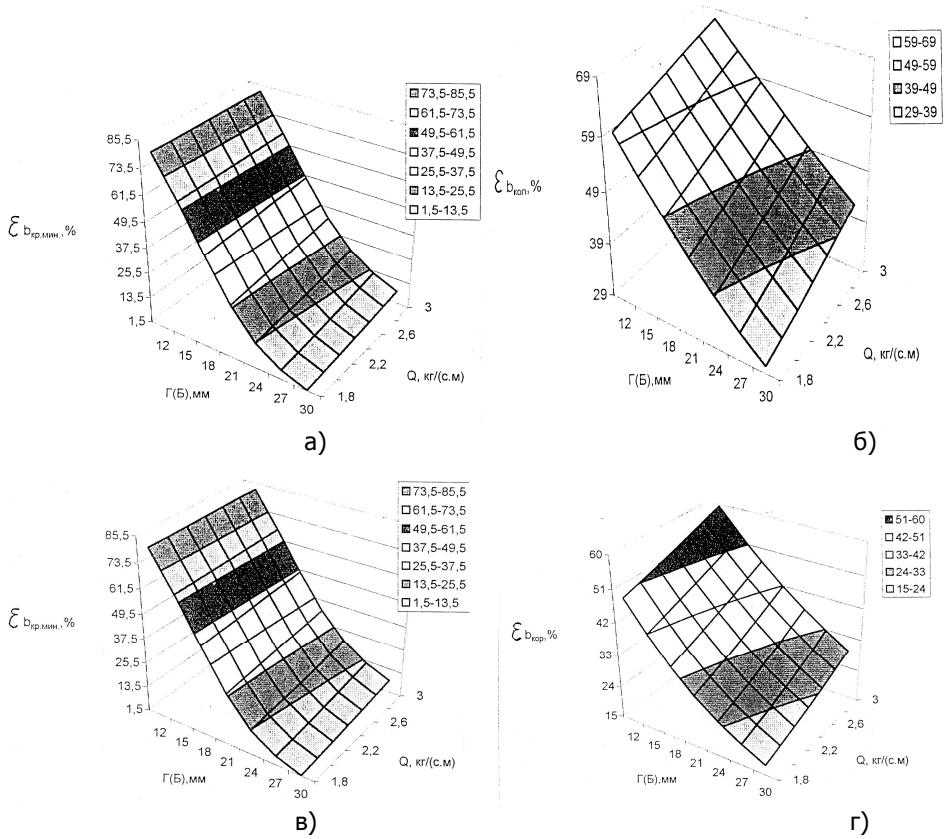


Рис.5. Зависимость полноты выделения ε_{bj} крупных примесей из зерновых отходов транспортерным скельператором от размеров: а – крупных примесей; б – колосков; в – крупных минеральных примесей; г – корзин осота

Выводы. Построена функциональная математическая модель процесса сепарации зернового вороха на транспортере-скельператоре. Установлено, что при заданных аргументах входных и управляющих воздействий можно проводить многомерный анализ и параметрическую оптимизацию транспортера-скельператора с рассмотренной структурой элементов.

Высокий уровень полноты выделения сходом с сетки скельператора колосков (30,5…41,7%) и оценка размерных характеристик крупных примесей и колосков выявили возможность выделения крупных компонентов на сетке с минимизацией схода колосков при использовании продолговатых отверстий.

Библиографический список

1. Ермольев Ю.И. Интенсификация технологических операций в воздушно-решетных зерноочистительных машинах. / Ю.И. Ермольев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1989. – 494 с.

2. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины. / Г.Д. Петров. – М.: Машиностроение, 1972. – 400 с.

3. Ермольев Ю.И. Систематизация функциональных схем и параметрическая оптимизация агрегатов очистки зерновых отходов. / Ю.И. Ермольев, Г.И.Лукинов, М.В.Шелков, И.Ю.Ермольева. – Деп. в ВИНИТИ №3827-899, 1999.

4. Ермольев Ю.И. Моделирование процесса сепарации сыпучих материалов на транспортерном сепараторе. / Ю.И. Ермольев, Г.И. Лукинов, М.В.Шелков. // Вестник ДГТУ. – 2001. – №3 (9). – С.31-41.

Материал поступил в редакцию 20.03.09.

U.I.ERMOLJEV, Y.I.LUKINOV

THE MODELING OF PROCESSES OIF DRY MATERIALS SEPARATION FOR DIFFERENT LOTS OF SPECIAL OPERATIONS IN SYNTHESIZED SEPARATORS

A general approach of the constructing of a functioning stochastic multimeasured analytic model, describing dry materials system separation on different combinations of special technological operations forming cleaning aggregate structure is given here. This article considers dry materials separation process on a conveyor. Scelperator fulfilling one of special operations.

ЕРМОЛЬЕВ Юрий Иванович (р, 1943), заведующий кафедрой «Сельскохозяйственные машины» ДГТУ, доктор технических наук, профессор. Окончил РИСХМ (1969).

Научные интересы: создание систем зерноочистительных машин и агрегатов поточной очистки зерновых и других культур, интенсификация процессов сепарации, построение многомерных математических моделей, адекватно описывающих процессы сепарации.

Имеет более 230 научных публикаций, в т.ч. 3 - монографии.

ЛУКИНОВ Георгий Ильич (р. 1937), директор Ростовской государственной МИС. Окончил Московский институт пищевой промышленности (1965). Специалист в области очистки, хранения, оценки качества зерновых и продуктов их переработки, испытаний оборудования для очистки и переработки зерновых культур.

Имеет 30 научных публикаций, в т.ч. 1 монографию.

Domik20061@yandex.ru

УДК 656.2:621.43.057

Е.Н. КАМЕНСКИЙ, Ю.И. БУЛЫГИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВОЗНЫХ ДВС ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТОПЛИВ КАЧЕСТВА EURO СТАНДАРТА

Проведены экспериментальные и теоретические исследования применения моторных топлив качества EURO стандарта в тепловозном дизеле. Получены явные технико-экологические и экономические эффекты использования топлив EURO4 и ЭКТО в маневровых тепловозах серии ЧМЭ3 по сравнению с дизельным топливом по ГОСТ 305-82. В результате испытаний выявлено улучшение тяговых, пусковых и топливно-экономических характеристик дизеля. Экспериментально подтверждено снижение выбросов сажи, оксидов углерода, азота и парниковых газов.

Ключевые слова: *моделирование, двигатель внутреннего сгорания (ДВС), вредные выбросы, экологические и экономические характеристики, реостатные испытания.*

Введение. В основных направлениях охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов в России на период до 2010 года в разделе научных исследований отмечено, что необходимо предусмотреть использование экологически безопасных видов топлива, а также создать высокоэффективные системы для предотвращения выбросов вредных веществ с отработавшими газами ДВС. Программа ОАО РЖД "Создание и освоение производства новых локомотивов в 2004-2010 гг." также предусматривает ужесточение технических требований к тепловозам в части снижения удельных расходов топлива подвижным составом и соблюдения действующих стандартов по экологии.

Качество дизельных топлив оказывает существенное влияние на надёжность, долговечность, экономичность ДВС и на формирование вредных выбросов. Нежелательными являются серо- и азотсодержащие соединения и ароматические углеводороды, особенно конденсированные. Поэтому особое внимание уделяется ужесточению требований к содержанию серы и полициклических ароматических углеводородов в моторных топливах.

С 1996 года в странах Европейского экономического сообщества действует европейский стандарт EN 590, в котором введены ограничения на содержание серы в дизельных топливах – не более 0,05 %. Стандарт предусматривает выпуск дизельных топлив для различных климатических регионов. Общими для дизельных топлив являются следующие требования: температура вспышки – не ниже 55 °С; коксуемость 10 %; остатка – не более 0,30 %; зольность – не более 0,01 %; содержание воды – не более 200 ppm; механических примесей – не более 24 ppm; коррозия медной пластинки – класс 1; устойчивость к окислению – не более 25 г осадка/м^3.

В 2001 году в России для выпуска дизельного топлива, соответствующего требованиям европейской нормали EN 590:2000 ОАО «ВНИИ НП» были разработаны технические условия 38.401-58-296-2001 «Топливо дизельное автомобильное», а впоследствии ГОСТ Р 52368-2005. Показатели качества и методы испытаний полностью повторяют EN 590. Основным отличием ГОСТ Р 52386-2005 от действующих нормативных документов

(ГОСТ 305-82) являются жесткие требования на содержание серы – не более 350 ppm, цетановое число – не менее 51 ед. При этом нормируются 4 новых показателя качества: цетановый индекс – не менее 46; смазывающая способность – не более 460 мкм; полициклические ароматические углеводороды – не более 11%; окислительная стабильность – не более 25 мг/м^3. Сера определяет количество окислов серы и содержание твердых частиц в отработавших газах дизелей. Цетановое число и цетановый индекс – показатели воспламеняемости дизельного топлива, от которых зависит время запуска двигателя, жесткость рабочего процесса, расход топлива и дымность отработавших газов. Сравнительный анализ основных свойств дизельных топлив, применяемых в настоящее время на железнодорожном транспорте по ГОСТ 305-82, и топлив, выпускаемых отечественными НПЗ в соответствии с европейской нормалью EN 590, приведён в табл.1.

Таблица 1

Физико-химические свойства исследуемых моторных топлив

Компонент	Единицы измерения	Марка топлива		
		ГОСТ 305-82	EURO 4	ЭКТО-дизель
Полиароматики	% масс.	9,0	4,15	2,1
Сера	%, масс.	0,062	0,033	0,053
Цетановое число	-	45	52	52
Плотность при 20 ^{0}C	кг/м^3	827,4	830,2	831,6
Вязкость при 40 ^{0}C	мм^2/с	4,5	3,12	2,99
Температура вспышки	^{0}C	58	58	48
Низшая теплота сгорания	кДж/кг	42914	42914	42835
Смазывающая способность	мкм	-	290	400

В табл.1 представлены фактические значения компонентов дизельного топлива, полученные на основе физико-химического анализа, произведённого в центральной химической лаборатории Новочеркасской ГРЭС. Результаты анализа свидетельствуют о существенной разнице в свойствах дизельных топлив.

Постановка задачи. При использовании стандартного нефтяного топлива достаточно затруднительно предсказать, как и насколько изменятся параметры рабочего процесса двигателя при изменении физико-химических свойств топлива, параметров камеры сгорания, топливоподачи и т.д. Таким образом, возникает проблема оптимальной организации рабочего процесса тепловозного дизеля, которая требует тщательного исследования и проведения НИОКР.

Очевидно, что представляют интерес изучение и исследование влияния эксплуатационных показателей рассматриваемых топлив на технико-экологические и экономические характеристики силовой установки тепловоза.

Известно, что к основным эксплуатационным показателям дизельного топлива относятся:

- цетановое число, определяющее высокие мощностные и экономические показатели работы двигателя;

- фракционный состав, определяющий полноту сгорания, дымность и токсичность отработавших газов двигателя;

- вязкость и плотность, обеспечивающие нормальную подачу топлива, распыливание в камере сгорания и работоспособность системы фильтрования;

- низкотемпературные свойства, определяющие функционирование системы питания при отрицательных температурах окружающей среды и условия хранения топлива;

- степень чистоты, характеризующая надежность работы фильтров грубой и тонкой очистки и цилиндропоршневой группы двигателя;

- температура вспышки, определяющая условия безопасности применения топлива в дизелях;

- наличие сернистых соединений, непредельных углеводородов и металлов, характеризующие нагарообразование, коррозию, износ, а также смазывающие свойства.

Для реализации поставленных целей были проведены реостатные испытания маневрового тепловоза ЧМЭ 3 на пункте экологического контроля локомотивного депо ст. Батайск в июле и октябре 2008 г на различных видах дизельного топлива. Реостатные испытания включали помимо определения основных технических характеристик замеры экологических параметров тепловоза и дополнительно измерение массового расхода топлива.

Экспериментальные исследования. При проведении испытаний руководствовались: разработанными "Программой и методикой испытаний маневровых тепловозов на разных видах моторного топлива"; технологической инструкцией по проведению реостатных испытаний; комплектом технической документации на реостатную станцию; техническими условиями (ТУ) замеров технико-экологических параметров на ПЭК.; комплектом технической документации на ПЭК; сертификатами качества продукции концерна "ЛУКОИЛ" и протоколами результатов химического анализа состава испытуемых топлив (см.табл.1).

Испытания включали в себя определение таких показателей, как: величины компрессии по цилиндрам; уровней шума в контрольных точках тепловоза; давления масла в системе смазки при фиксированных оборотах двигателя и определённой температуре; электрической мощности силовой установки тепловоза; массового расхода топлива двигателем; давления и температуры надувочного воздуха в дизель; температуры отработанных газов (ОГ) в выпускном коллекторе дизеля; температуры воды и масла в системе охлаждения дизеля; экологических параметров тепловозов по ГОСТ Р 50953-96 (содержание вредных веществ (ВВ) и дымность ОГ).

Используемые средства и схемы измерений. Использовалось штатное приборное обеспечение реостатной станции (табл.2), а также средства измерений и оборудование ПЭК, применяемые для проведения экологического контроля тепловозных дизелей (табл.3).

Таблица 2

Штатное приборное обеспечение реостатной станции

Наименование	Измеряемый параметр(ы)	Класс точности
Тахометр (0-900 об/мин)	Обороты коленчатого вала дизеля	Цена деления 20 об/мин
Амперметр (0-4000 А)	Ток тягового генератора	1,0
Вольтметр (0-600 В)	Напряжение тягового генератора	1,0
Манометр (0-1 атм)	Давление воздуха в надувочном коллекторе дизеля	Цена деления 0,02 атм
Манометр (0-10 атм)	Давление топлива в коллекторе	Цена деления 0,2 атм
Манометр (0-10 атм)	Давление масла на входе в дизель	Цена деления 0,2 атм
Максиметр (0-100 атм)	Давление вспышки по цилиндрам	Цена деления 1 атм
Топливный расходомер	Расход топлива дизелем	Цена деления 0,2 литра
Ареометр	Плотность дизельного топлива	Цена деления 0,01 г/см3
Пирометр (0-1000 C^0)	Температура отработавших газов по цилиндрам и перед турбиной	Цена деления 1 C^0
Барометр-анероид М-73	Атмосферное давление	2,0
Термометр ТЛ, ТП-6	Температура окружающего воздуха	0,1^{0}C

Таблица 3

Приборы экологического контроля

Наименование	Измеряемый параметр(ы) (компонент(ы))	Погрешность измерений, %
Газоанализатор: Vario Plus (Германия) оснащенный разъемом RS-232 для подключения к ПЭВМ, LCD-дисплеем с подсветкой, встроенным принтером, интегрированной памятью на 300 измерений, дисководом для записи и передачи данных, зондом для отбора проб, радиатором для охлаждения газа, обогреваемым шлангом.	O_2, CO, SO_2, NO, NO_2, H_2S, сажа, избыток воздуха по дефициту кислорода, температура воздуха температура газа давление разрежения	0,2 5,0 5,0 3,0 3,0 3,0 4,0 2,0 0,5 K 2,0 2,0
Система пробоотбора и пробоподготовки 12.00.000 ТУ (термошланг и регулятор температуры)	Обеспечение подготовки и доставки пробы	
Система обеспечения сжатым воздухом	Обеспечение забора пробы и продувка	
Манометр МО-250 (ГОСТ 6521-72)	ТО ПЭК	1,5
Барометр-анероид М-73	Атмосферное давление	2,0
Термометр ТЛ, ТП-6	Температура окружающего воздуха	0,1^{0}C

Для определения дымности отработанных газов тепловозного дизеля использовался микропроцессорный оптический дымомер "ИДС-3" (Украина), предназначенный для экспрессного измерения дымности и имеющий погрешность при измерении дымности не более $\pm$ 2%.

Для замеров уровней шума двигателя тепловоза в контрольных точках использовался измерительный прибор – ВШВ – 003-М3, 000, кел.1.

Схемы измерения электрической мощности тепловоза и массового расхода топлива приведены на рис.1 и 2.

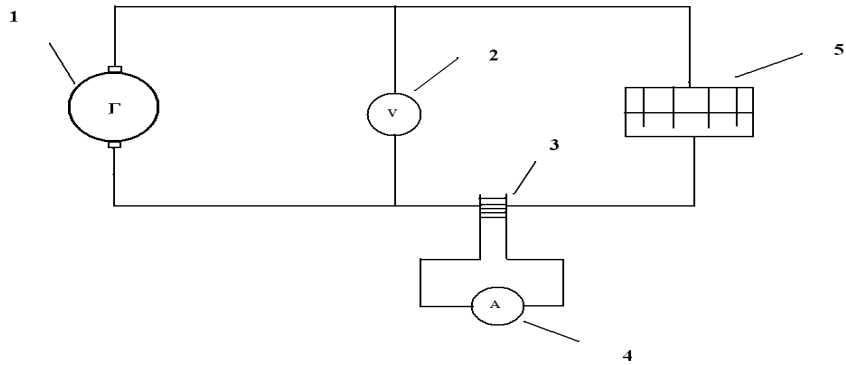


Рис.1. Схема реостатной установки для измерения мощности тепловоза:
1 – главный генератор; 2 – вольтметр (0-1000 В); 3 – шунт килоамперметра;
4 – килоамперметр; 5 – водяной реостат

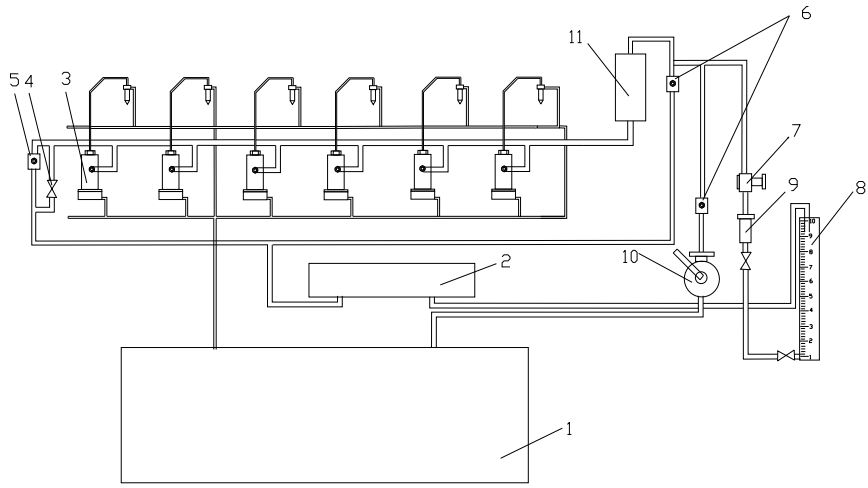


Рис.2. Схема измерения массового расхода топлива дизелем тепловоза: 1 – топливный бак; 2 – топливоподогреватель; 3 – топливный насос высокого давления; 4 – вентель; 5 – перепускной клапан; 6 – обратный клапан; 7 – топливоподкачивающий насос; 8 – объемный топливомер; 9 – фильтр грубой очистки; 10 – ручной насос; 11 – фильтр тонкой очистки

Примечание. В мерной ёмкости контролируются температура и плотность топлива для того, чтобы повысить точность последующего пересчёта объёмного расхода в массовый. Объёмный расход топлива определяется за счёт разности показаний топливомера и объёма сливаемого топлива в мерную ёмкость.

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 3, 4, где режимами 2, 3, 4, 5 обозначена соответствующая мощность тепловоза на 2, 4, 6 и 8 поз. – контроллера-машиниста.

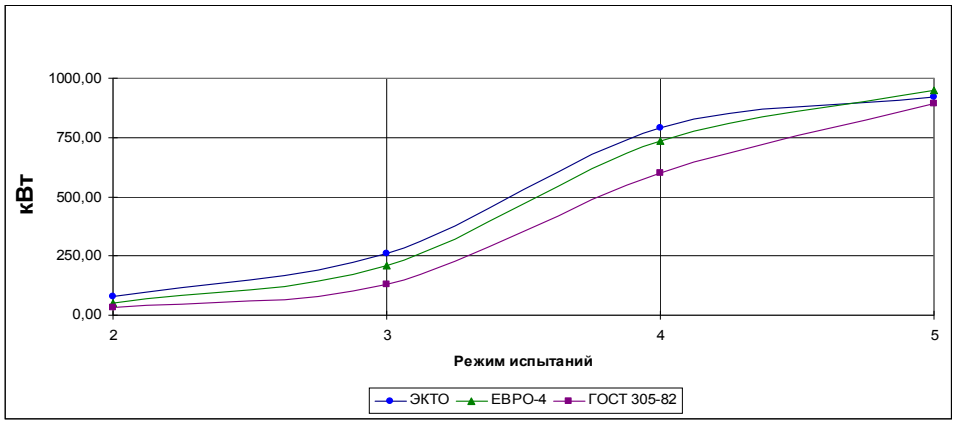


Рис.3. Тяговая характеристика тепловоза

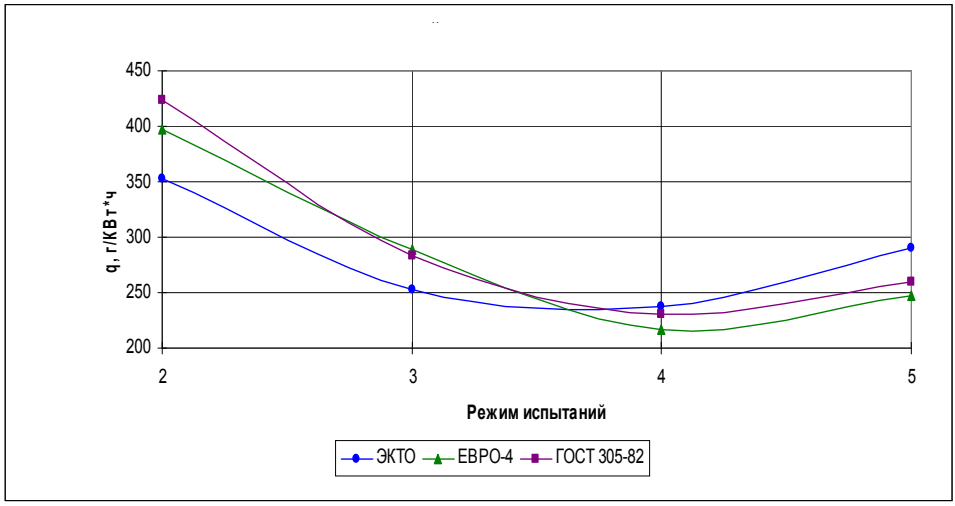


Рис.4. Удельный расход топлива

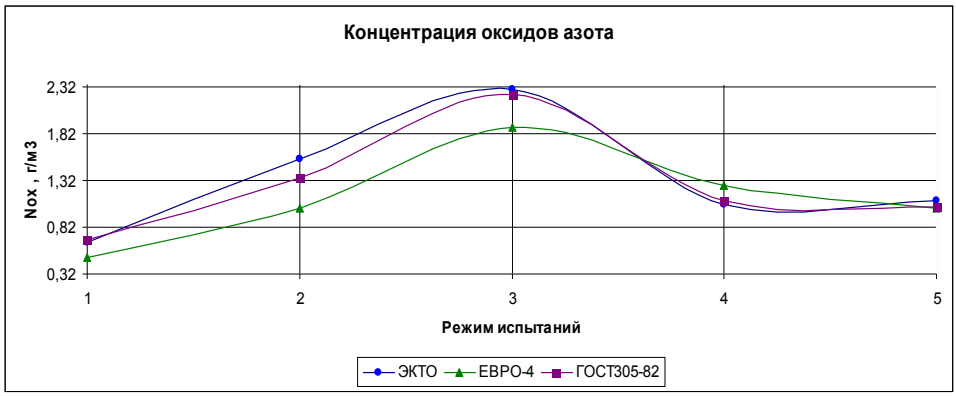
Как следует из тяговых характеристик тепловоза (см.рис.3), при работе на топливах EURO 4 и "ЭКТО-дизель" достигается явный эффект увеличения мощности силовой установки по сравнению с применяемым топливом по ГОСТ 305-82. Причём, если на номинальной нагрузке он составляет 3,0…6,1 %, то при работе на частичных режимах (поз.2 и 4 контроллера) эффект достигает больших значений.

Наряду с увеличением мощности работа дизеля на топливах EURO 4 и "ЭКТО-дизель" сопровождается более "мягкой" работой ДВС, максимальные давления сгорания по цилиндрам дизеля K6S310DR при его работе на испытуемых топливах снижаются (около 5-6 %), уменьшается жёсткость процесса, что свидетельствует о снижении скорости нарастания давления внутри камеры при сгорании топлива. Последний вывод подтверждается замерами уровней шума на расстоянии 1 м от тепловоза на пункте экологического контроля (ПЭК), которые снижаются на 2-3 дБ.

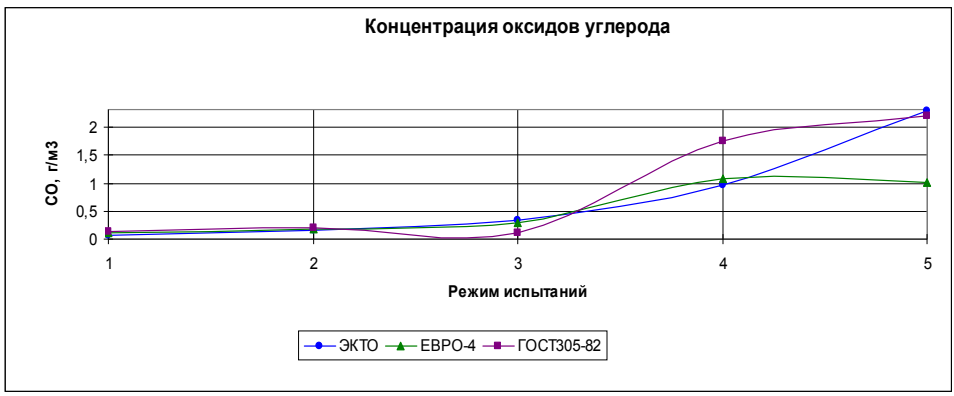
При работе тепловоза на EURO 4 наблюдается снижение температуры отработанных газов (ОГ) в зависимости от режима на 55…110 ^{0}C. При номинальной нагрузке это снижение отмечено и для топлива "ЭКТО-дизель",

однако при частичных нагрузках и на холостом ходу $T_{ог}$ значительно выше (на 80…120 ^{0}C) для "ЭКТО-дизель", чем при работе на топливе по ГОСТ305-82. Последнее обстоятельство очевидно связано с тем, что в топливо «ЭКТО-дизель» добавлены дополнительные депрессивные присадки. Об улучшении экономичности тепловоза при переходе на новые виды топлива EURO стандарта свидетельствуют зависимости, полученные экспериментально и представленные на рис.3, 4. Как видно из графиков (см.рис.4), при работе ДВС тепловоза ЧМЭ3 на топливе EURO-4 удельные расходы топлива снижаются в среднем на 12,7…23,7 г/кВт·ч, что значительно превышает погрешность данного способа измерения - 5-6 г/кВт·ч. Эффект снижения удельных расходов топлива зафиксирован и при работе на "ЭКТО-дизель", который составил на режимах холостого хода и поз.2 контроллера машиниста – 30…50 г/кВт·ч.

Что касается экологических эффектов, то они наблюдаются практически по всем регистрируемым загрязняющим веществам (рис.5). Так, снижение наиболее токсичных в ОГ тепловоза оксидов азота составило от 10 до 20 % практически на всех нагрузочных режимах при работе на топливе EURO 4 (см.рис.5,а). Концентрации оксидов углерода уменьшились практически в 2 раза особенно на 6 и 8 поз. контроллера (см.рис.5,б). Значительно снизилась дымность ОГ от 25 до 40 % (см.рис.5,в).

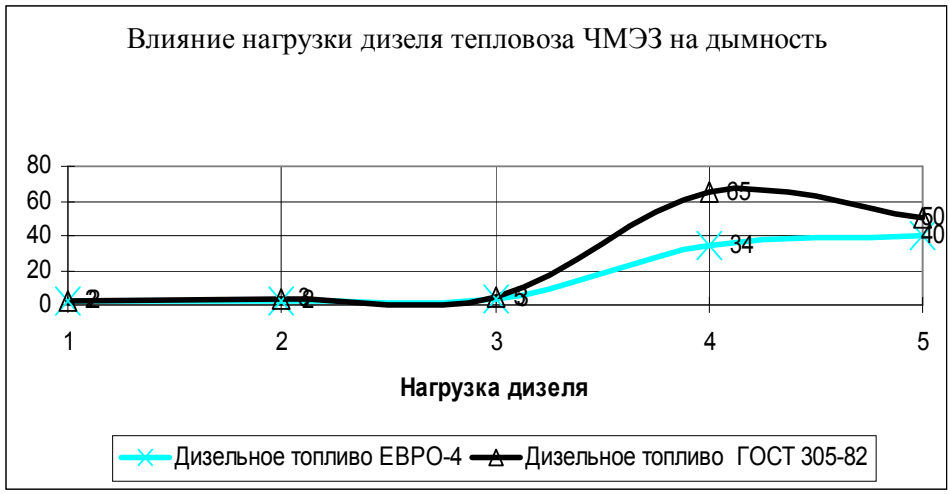


а)



б)

Рис.5. Концентрации в отработанных газах дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭ3: а – оксидов азота; б – оксидов углерода; в – отработанных газов
(окончание см. с. 465)



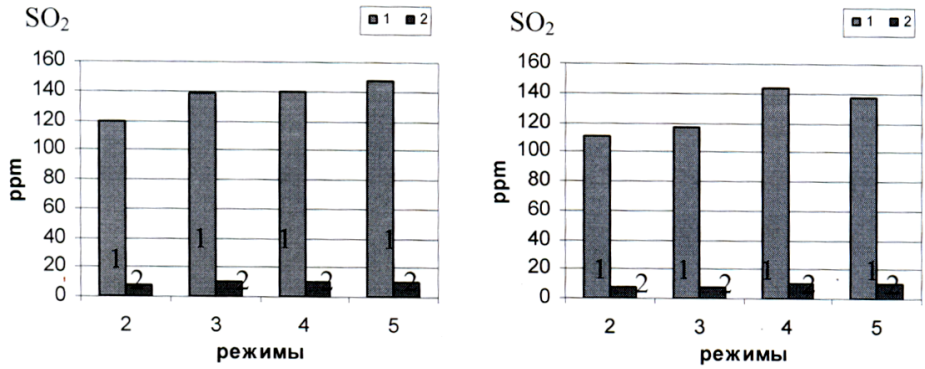
в)

Рис.5. Окончание

Улучшение технико-экологических параметров работы маневрового тепловоза наиболее проявилось в отношении топлива EURO 4. При работе на моторном топливе "ЭКТО-дизель", как видно из полученных экспериментальных зависимостей, эффекты имеют место не всегда и не на всех режимах работы машины.

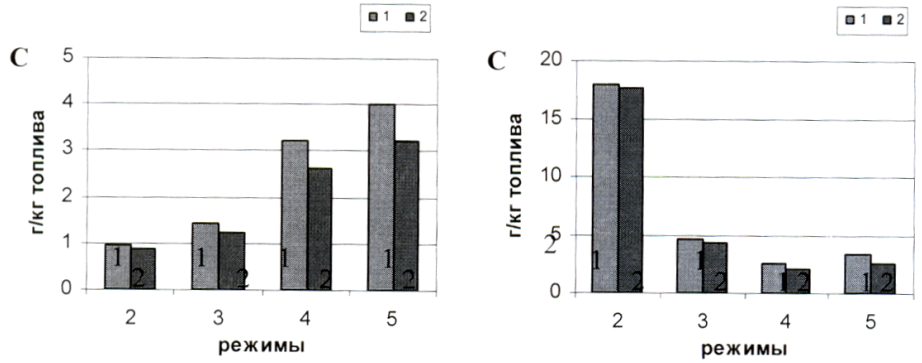
Следует заметить, что полученные авторами результаты подтверждены целой серией испытаний и экспериментальных исследований на ПЭК и реостатной станции тепловозов, а также исследованиями автомобильного дизеля КАМАЗ на одном из транспортных предприятий г. Ростова-на-Дону [1].

Модельные расчеты. Полученные экспериментальные данные достаточно хорошо согласуются и с результатами численных расчётов по известным моделям [2] и [3]. В качестве исходных данных для расчетов задавались химические составы исследуемых топлив. Для топлива по ГОСТ 305-82 состав был принят исходя из формулы: C – 86,1 %, H – 13,3 %, O – 0,04 %, N – 0,05 %, S – 0,5 %, Pb – 0 %, A – 0,01 %, W – 0 %. При пересчёте состава топлива с пониженным содержанием серы и полиароматиков по ГОСТ 52368-2005 исходили из того, что снижение доли серы распределялось пропорционально между углеродом и водородом согласно общей формулы дизельного топлива $C_{14}H_{30}$. Модельные расчёты по программе ENGINE были произведены для распространенных тепловозов на СКЖД – маневрового тепловоза ЧМЭ 3 (двигатель K6S310DR) и магистрального тепловоза 2ТЭ10 (двигатель 10Д100). Результаты расчетов показаны на рис.6-8.



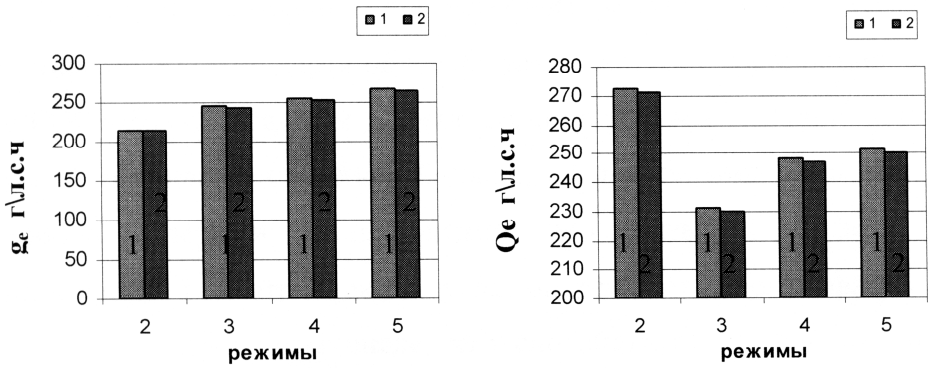
а) б)

Рис.6. Значения выбросов оксидов серы в отработанных газах дизеля: а – тепловоз ЧМЭ 3 (К6S310DR); б – тепловоз 2ТЭ10 (10Д100); 1 – дизельное топливо по ГОСТ 305-82; 2 – дизельное топливо EURO4 по ГОСТ 52368-2005



а) б)

Рис.7. Значения выбросов сажистых частиц в отработанных газах дизеля: а – тепловоз ЧМЭ 3 (К6S310DR); б – тепловоз 2ТЭ10 (10Д100); 1 – дизельное топливо по ГОСТ 305-82; 2 – дизельное топливо EURO4 по ГОСТ 52368-2005



а) б)

Рис.8.Удельный расход топлива по режимам работы дизеля: а – тепловоз ЧМЭ 3 (К6S310DR); б – тепловоз 2ТЭ10 (10Д100); 1 – дизельное топливо по ГОСТ 305-82; 2 – дизельное топливо EURO4 по ГОСТ 52368-2005

Полученные технико-экологические и экономические эффекты в работе маневрового тепловоза предполагают на следующем этапе работ проведение дальнейших исследований, связанных с настройкой и регулированием топливной аппаратуры дизеля. Речь идёт не только о настройках по углу опережения впрыска УОВ ДВС для новых топлив (в связи с другими цетановыми числами), но и о регулировании производительности ТНВД или давления открытия форсунки при впрыске топлива в цилиндр. При этом может быть получена ещё большая эффективность работы дизелей подвижного состава.

Теоретические исследования позволят установить связь индикаторной работы, удельного расхода топлива, периода задержки воспламенения и жёсткости процесса сгорания с цетановым числом топлива, его вязкостью и плотностью. Для этого необходимы дальнейшие расчётные исследования по программе Diesel-RK (МГТУ им. Баумана) [3]. В ней можно задавать не только различный химический состав топлива и разный УОВ, но и такие влияющие параметры, как цетановое число, плотность, вязкость, задержка воспламенения, давления распыла топлива по режимам и другое.

При применении дизельных топлив качества EURO стандарта в сравнении с топливом (ГОСТ 305-82) снижаются средневзвешенные выбросы NO_x на 9%, CO на 23%, SO_2 на 90%, CO_2 на 12 %, сажи на 9%, при этом экономия дизельного топлива составляет около 4%.

Выводы. 1. Экспериментальные исследования подтвердили ряд экологических эффектов от применения нового моторного топлива, которые в основном связаны со следующими положениями:

- снижение выбросов сажи за счёт более глубокой очистки топлива (меньшее содержание серы и полиароматических углеводородов);
- уменьшение выбросов CO за счёт большей полноты сгорания топлива;
- несмотря на положение теории Я.Б. Зельдовича о том, что выход оксидов азота не зависит от вида топлива, экспериментально обнаружено сокращение выхода NO для топлива EURO4, что может быть связано с большей однородностью очищенного топлива, при горении которого образуется меньше локальных неоднородных зон горения в камере сгорания ДВС;
- существует оптимальное количество серы в топливе, так как при снижении его до минимума необходимо добавление компенсирующих присадок (проявляются отрицательные эффекты, например, ухудшается смазывающая способность для топливной аппаратуры);
- меньшая вязкость нового моторного топлива улучшает характеристики распыла топлива форсунками, и процесс сгорания проходит более полно.

2. Установлено снижение массового расхода топлива, несмотря на то, что топливо EURO стандарта обладает такой же теплотворностью, как и топливо по ГОСТ 305-82. Данный эффект связан с тем, что величина цетанового числа нового топлива значительно больше, следовательно, в связи с уменьшением периода задержки воспламенения это вызывает эффект, аналогичный увеличению геометрического угла опережения впрыскивания топлива при неизменном цетановом числе, что способствует улучшению экономичности. Кроме того, у топлива "ЭКТО-дизель", как видно из протокола испытаний, ниже температура вспышки, что также способствует уменьшению периода задержки воспламенения. В результате экономич-

ность улучшается явно на 13…23 г/кВт·ч, что выше погрешности измерений 4-5 г/кВт·ч.

3. Экспериментально установлено улучшение технических параметров работы тепловоза, тяговой характеристики, снизилась жёсткость рабочего процесса дизеля тепловоза, улучшились пусковые свойств силовой установки и приёмистость ДВС.

Библиографический список

1. Алексеенко Л.В. Снижение токсичности отработавших газов и повышение экономичности транспорта при использовании топлива EURO стандарта. / Л.В. Алексеенко, Ю.И. Булыгин, Е.Н. Каменский, Д.В. Деундяк, Д.А. Корончик // Экология и промышленность России. – М.: ЗАО "Калвис", 2008.

2. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002610605 РФ. Расчет энергоэкологических параметров ДВС "ENGINE" / Ю.И.Булыгин, О.В. Яценко, И.Н. Жигулин, Е.Н. Ладоша. Приоритет от 11.03.2002. – Опубл. в Б.П.2002. Бюл. № 3.

3. Кулешов А.С. Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливоподачи и рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания. / А.С. Кулешов, Л.В. Грехов. – М.: МГТУ, 2000. – 64 с.

Материал поступил в редакцию 25.02.09.

J.I. BULYGIN, E.N. KAMENSKY

THE RESEARCH OF TECHNICO-ECOLOGICAL AND ECONOMIC CHARACTERISTICS OF DIESEL EIC WITH USING OF EURO-STANDARD QUALITY FUELS

Experimental and theoretical studies of the use of motor fuel quality EURO standard diesel locomotive. Explicit technical, environmental and economic effects of the use of fuels and EURO4 EKTO in shunting locomotive compared with diesel fuel according to GOST 305-82. As a result, the tests demonstrated improvement in traction, launch and fuel-economic characteristics of the diesel engine. Experimentally confirmed by the reduction in emissions of soot, carbon monoxide, nitrogen and greenhouse gases.

БУЛЫГИН Юрий Игоревич (р.1966), профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» ДГТУ, доктор технических наук (2007). Окончил Ростовский институт инженеров железнодорожного транспорта (1988).
Область научных интересов – транспортная экология, безопасность жизнедеятельности, исследования тепловых двигателей.
Имеет более 112 научных публикаций.

КАМЕНСКИЙ Евгений Николаевич (р.1980), аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды». Окончил Ростовский государственный университет путей сообщения (2002).
Область научных интересов – транспортная экология.
Имеет 5 научных публикаций.

bulyur_rostov@mail.ru

УДК 621.9.048

М.А. ТАМАРКИН, Э.Э. ТИЩЕНКО, В.Г. ЛЕБЕДЕНКО

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ В ГИБКИХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ СРЕДАХ

В статье представлены результаты исследований методов поверхностного пластического деформирования гибкой гранулированной средой. Определены глубина внедрения частицы среды, среднее арифметическое отклонение профиля установившейся шероховатости, глубина упрочненного слоя и степень упрочнения. Приведена зависимость шероховатости от времени для различных видов обработки методом поверхностного пластического деформирования гибкой гранулированной средой.

Ключевые слова: *гибкая гранулированная среда, среднее арифметическое отклонение профиля установившейся шероховатости, глубина упрочненного слоя, степень упрочнения.*

Введение. В условиях современного машиностроительного производства необходимо добиваться постоянного повышения производительности труда и улучшения качества выпускаемых изделий. Для решения этой задачи разрабатываются и внедряются новые методы обработки. К таким методам относятся методы обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД) в гибких гранулированных рабочих средах. В последнее время они находят всё большее применение в различных отраслях промышленности на этапах финишной обработки, так как имеют достаточно широкие технологические возможности, что в свою очередь позволяет обрабатывать детали самой различной конфигурации и обеспечивать высокое качество поверхностного слоя.

Обработка, основанная на пластическом деформировании тонкого поверхностного слоя (отделочно-упрочняющая обработка) при помощи гибкой рабочей среды, имеет по сравнению с другими финишными методами обработки поверхности ряд преимуществ: сохраняется целостность волокон металла и образуется мелкозернистая структура в поверхностном слое; отсутствуют термические дефекты; обеспечивается стабильное качество поверхности; обеспечивается возможность достижения минимальных высотных параметров шероховатости поверхности как на термически необработанных сталях, цветных сплавах, так и на высокопрочных материалах; создается благоприятная форма микронеровностей с большой долей опорной площади на уровне вершин неровностей; создаются благоприятные сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое; повышается микротвердость поверхности. Обработка поверхностным пластическим деформированием гибкой гранулированной средой (ППД ГГС) не требует применения сложного оборудования и оснастки. ППД ГГС могут подвергаться детали разнообразных форм и размеров, изготовленные из различных материалов.

Методы обработки ППД ГГС широко применяются в промышленности. Каждый из этих методов имеет свою область применения, преимущества и недостатки. Рассмотрим некоторые из них подробнее.

Отделочно-упрочняющая вибрационная обработка (ВиОУО) представляет собой механический или механохимический процесс сглаживания микронеровностей за счет их пластического деформирования частицами рабочей среды, совершающими колебательное движение [1]. Процесс сопровождается последовательным нанесением на поверхность деталей большого количества микроударов частицами рабочей среды при их взаимных соударениях и скольжении. Удары вызваны действием колебаний, сообщаемых рабочей камере.

Рабочей камере, смонтированной на упругих элементах и имеющей возможность колебаться в различных направлениях, сообщается вибрация от инерционного вибратора в виде вращающегося вала с несбалансированными грузами с частотой 15…50 Гц и амплитудой 0.5…2.5 мм. В процессе вибрирования заготовки и рабочая среда непрерывно подвергаются переменным по знаку ускорениям, приходят в интенсивное относительное перемещение, совершая два вида движений: колебания и медленное перемещение всей массы (циркуляционное движение). От стенок рабочей камеры вибрация передается прилегающим слоям рабочей среды, которые передают ее следующим слоям и т.д. Схема вибрационной обработки представлена на рис.1.

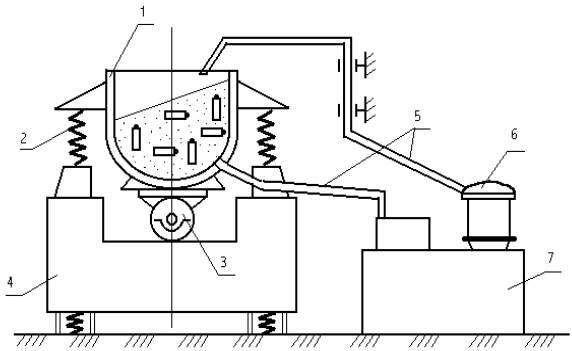


Рис.1. Схема станка для ВиОУО: 1 – рабочая камера; 2 – упругий элемент; 3 – дебалансный вибратор; 4 – основание; 5 – шланги для подачи и слива технологической жидкости; 6 – помпа; 7 – бак-отстойник

В процессе обработки заготовка занимает различные положения в рабочей среде, что обеспечивает достаточно равномерную обработку всех поверхностей во всех точках рабочей камеры. Несколько эффективней обработка у дна, где давление рабочей среды выше. По мере удаления от стенок рабочей камеры амплитуда колебаний частиц рабочей среды и интенсивность обработки уменьшаются. Воздействие на обрабатываемую деталь одновременно большого числа микроударов в различных направлениях способствует удержанию ее во взвешенном состоянии, исключая грубые забоины и повреждения. Процесс обработки осуществляется преимущественно с периодической или непрерывной подачей в рабочую камеру технологической жидкости (ТЖ) требуемого состава и значительно реже всухую. Интенсивность вибрационной обработки зависит от режима и продолжительности обработки, характеристики и размеров частиц рабочей среды, объема рабочей камеры и степени ее заполнения, механических свойств материала обрабатываемых деталей и др.

ВиОУО, используемая для достижения упрочняющего или стабилизирующего эффекта, осуществляется преимущественно в среде металличе-

ских и твердосплавных тел. ВиОУО является универсальным методом обработки. Наиболее ощутимы его преимущества при обработке деталей сложной формы, а также при упрочнении большой партии деталей небольших размеров. При этом достигается равномерное упрочнение тонкого поверхностного слоя всех элементов детали, отделка и скругление острых кромок, плавность переходов.

В работах исследователей ВиОУО [1,2,3] приводится значительное количество факторов, влияющих на производительность и качество обработки. Многие из них выделяют следующие основные факторы: амплитуда и частота колебаний рабочей камеры, параметры частиц рабочей среды; свойства обрабатываемого материала; степень заполнения рабочей камеры; время обработки; соотношение объемов обрабатываемых заготовок и гибкой рабочей среды; наличие и свойства ТЖ; исходное состояние поверхности заготовок и др.

ВиОУО позволяет получить в зависимости от состояния исходной заготовки и используемой среды шероховатость поверхности до Ra 0.5 мкм, повышение микротвердости на 20…60% на глубине 0.1…0.5 мм и более, величину сжимающих остаточных напряжений 100…120 МПа на глубине 0.5…0.8 мм, скругление острых кромок, уменьшение и ликвидацию концентраторов напряжений.

Центробежно-ротационная обработка в среде стальных шариков является одним из отделочно-упрочняющих динамических методов обработки.

Метод центробежно-ротационной обработки занимает особое место среди известных методов обработки деталей ППД ГГС, так как обеспечивает наибольшую производительность процесса обработки, многократно превышающую производительность многих других методов.

Сущность метода отделочно-упрочняющей центробежно-ротационной обработки (ОУ ЦРО) состоит в том, что гранулированный наполнитель 3 и обрабатываемые детали 4 (рис.2) загружаются в рабочую камеру и приводятся во вращательное движение вокруг вертикальной оси таким образом, что вся масса загрузки приобретает форму тора [4].

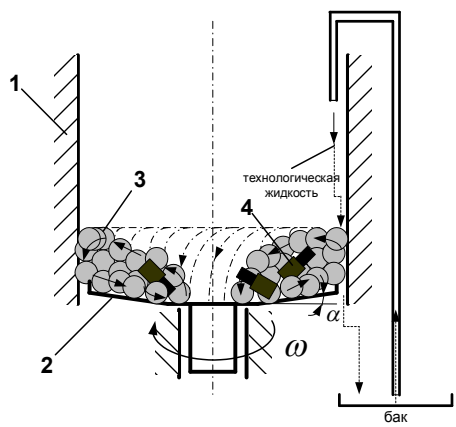


Рис.2. Схема процесса
центробежно-ротационной обработки

Тороидально-винтовой поток обеспечивается конструкцией рабочей камеры, состоящей из неподвижной цилиндрической вертикально расположенной обечайки 1 и примыкающего к ней вращающегося дна 2, имеющего форму тарели. Для уменьшения износа внутренние поверхности дна и неподвижную часть рабочей камеры покрывают износостойким материалом. Чаще всего используются резиновые или полиуретановые покрытия. Вращение дна обычно обеспечивается реверсивным электродвигателем или гидродвигателем.

К основным преимуществам ОУ ЦРО относятся: высокая интенсивность обработки; простое по конструкции оборудование; возможность одновременной обработки заготовок «внавал» большими партиями.

Шероховатость обработанной поверхности при ОУ ЦРО зависит от характеристик гибкой рабочей среды, режимов обработки, объема загрузки рабочей камеры, физико-механических свойств обрабатываемого материала, исходной шероховатости и других факторов.

При ОУ ЦРО воздействие множества микроударов частиц гибкой рабочей среды на поверхность обрабатываемых заготовок создает предпосылки для изменения физико-механических свойств поверхностного слоя деталей.

Наряду с шероховатостью и микротвердостью поверхности важным критерием, определяющим эксплуатационные свойства детали, являются остаточные напряжения в её поверхностном слое. Так как процесс ОУ ЦРО является низкотемпературным (температура в рабочей камере не превышает 50^0С) и осуществляется при постоянном воздействии ТЖ, единственным источником возникновения остаточных напряжений может быть пластическая деформация от микроударов частиц рабочей среды.

В известных работах [4,5] приводится значительное количество факторов, влияющих на производительность и качество обработки, но большинство исследователей выделяют следующие основные: угловая скорость вращения дна; угол наклона дна; параметры частиц рабочей среды (размеры шариков); свойства обрабатываемого материала; степень заполнения рабочей камеры; время обработки; соотношение объемов обрабатываемых заготовок и гибкой обрабатывающей среды; наличие и свойства ТЖ; исходное состояние поверхности заготовок и др.

ОУ ЦРО позволяет получить в зависимости от обрабатываемого материала шероховатость поверхности Ra до 0.8 мкм, величину сжимающих остаточных напряжений 100…130 МПа на глубине залегания 0.5…1 мм, повышение усталостной долговечности в 1.5…1.6 раз, повышение степени упрочнения до 20%.

Обработка дробью (ОД) осуществляется ударами дроби по деформируемому материалу. ОД используется для упрочнения деталей и инструментов сложной формы, а также для обработки деталей, имеющих малую жесткость (зубьев шестерен, листовых рессор, витых пружин, лопаток компрессоров и турбин и др.) [6,7].

Эффект, достигаемый при ОД, обеспечивается за счет создания в поверхностном слое детали сжимающих остаточных напряжений, однородной текстуры металла и специфической микрогеометрии, свойственной всем методам ОУО ГРС.

Процесс ОД включает две группы методов:

1) дробеударная обработка (ДО), объединяющая методы обработки ППД сухой дробью: дробеструйный, дробеметный, гравитационный, пневмодинамический, беспыльная ДО;

2) гидродробеударная обработка (ГДО), включающая методы упрочнения дробью с применением ТЖ: пневмогидродробеструйный, гидродробеструйный, гидродробеметный, упрочнение микрошариками.

Принципиальные схемы основных способов ОД приведены на рис.3.

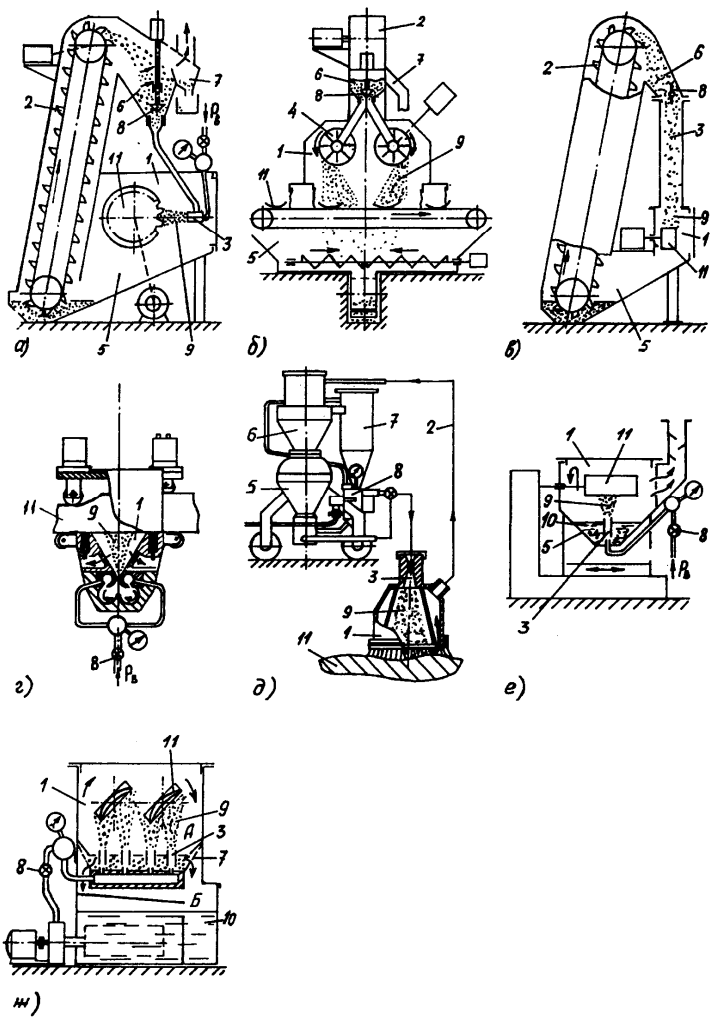


Рис.3. Принципиальные схемы обработки дробью: а – дробеструйное упрочнение; б – дробеметная обработка; в – гравитационная обработка; г – пневмодинамическая обработка; д – беспыльная дробеструйная обработка; е – пневмогидродробеструйная обработка; ж – гидродробеструйная обработка: 1 – рабочая камера; 2 – элеватор (возврат дроби); 3 – струйный аппарат; 4 – ротор-дробемет; 5 – нижний бункер; 6 – верхний бункер; 7 – сепаратор дроби; 8 – запорно-регулировочное устройство; 9 – поток дроби; 10 – рабочая жидкость; 11 – деталь

ОД позволяет получить в зависимости от обрабатываемого материала шероховатость поверхности Ra до 0.8 мкм, величину сжимающих остаточных напряжений 100…130 МПа на глубине залегания 0.5…1 мм, повышение усталостной долговечности в 1.5…1.6 раз, повышение степени упрочнения до 20%.

Постановка задачи. Несмотря на широкое распространение методов ППД ГГС, имеющиеся результаты, полученные рядом исследователей, недостаточно полно описывают процесс, носят эмпирический характер или рассматривают частные вопросы. Нет сведений по выбору технологических режимов применительно к процессу достижения заданных параметров поверхностного слоя (шероховатость поверхности, глубина упрочненного слоя, степень упрочнения), практически не изучено влияние механических характеристик материала. Из выполненных исследований наибольший интерес в этой области представляют работы А.П. Бабичева, В.О. Трилисского, Ю.Р. Копылова, В.В. Петросова, И.В. Кудрявцева, В.М. Смелянского и др. На основании результатов их работ, а также результатов собственных исследований разработана комплексная система моделей ППД ГГС, включающая взаимосвязанные модели единичного взаимодействия частиц рабочей среды с поверхностью детали, формирования шероховатости обработанной поверхности, глубины упрочненного слоя, степени упрочнения. Проведено исследование эксплуатационных свойств обработанных деталей.

Содержание и результаты исследований. При исследовании основных технологических параметров методов ППД ГГС (производительности процесса и качества обработанной поверхности) одним из важнейших является вопрос теоретического моделирования процесса единичного взаимодействия частиц среды с поверхностью обрабатываемой детали. Разработка теоретических зависимостей, описывающих форму и размеры следов обработки, позволяет в дальнейшем перейти к теоретико-вероятностному описанию распределения следов на поверхности детали, что в свою очередь даёт возможность разработать модель формирования профиля шероховатости и физико-механических свойств поверхности детали.

Деформирование неровностей при ППД ГГС происходит следующим образом: частица среды взаимодействует с выступами микропрофиля поверхности обрабатываемой детали, в результате чего эти выступы пластически деформируются, вызывая течение металла (в микрообъёмах), причём пластическая деформация происходит в поверхностном слое детали. Это связано со значительным превышением твёрдости рабочих тел по сравнению с твёрдостью обрабатываемого материала.

В начале процесса взаимодействия частица среды соприкасается с вершинами неровностей детали по дуге. Длина отрезка контакта увеличивается по мере внедрения частицы в поверхность вплоть до частичной или полной деформации микронеровностей. При этом силы трения на поверхности контакта препятствуют деформации неровностей в окружном направлении. Возникшие в результате взаимодействия касательные напряжения максимальны на контактной поверхности и уменьшаются по мере удаления вглубь материала. Увеличивающиеся на поверхности контакта неровности с частицей среды давления приводят к пластическому течению металла в направлении минимального сопротивления, т.е. в направлении свободной поверхности впадины микронеровностей. В результате перерас-

пределения усилий впадины микронеровностей "поднимаются" вплоть до контакта с поверхностью обрабатывающего тела. Этот процесс протекает тем интенсивнее, чем деформируемый выступ находится ближе к зоне максимальных давлений.

Глубину внедрения частицы среды можно определить по зависимостям:

- для отделочно-упрочняющей вибрационной и центробежно-ротационной обработки

$$h_{\max} = 2 \cdot V_{эф} \cdot R \cdot \sin\alpha \cdot \sqrt{\frac{\rho_ч}{3\kappa_s \cdot c \cdot \sigma_s}}, \qquad (1)$$

где $V_{эф}$ - эффективная скорость частицы (определяется особенностями конкретного вида обработки); R - радиус частицы; α - угол встречи частицы с поверхностью детали; $\rho_ч$ - плотность материала частицы; k_s - коэффициент, учитывающий влияние шероховатости детали; c - коэффициент несущей способности контактной поверхности; σ_s - предел текучести материала детали;

- для обработки дробью

$$h_{\max} = 1.6 \cdot K_L \cdot R \cdot \sqrt{\frac{P_{дин} \cdot \rho_ч}{k_s \cdot c \cdot \sigma_s \cdot \rho_{см}}}, \qquad (2)$$

где $P_{дин}$ – динамическое давление; K_L – коэффициент потерь, учитывающий расстояние до обрабатываемой детали и плотность потока шариков (определяется при проведении экспериментальных исследований); $\rho_{см}$ - плотность смеси.

Величина деформации поверхностного слоя в значительной степени определяется физико-механическими свойствами материала обрабатываемой детали, а также количеством взаимодействий, приходящихся на каждую точку обрабатываемой поверхности.

Контактные напряжения, возникающие в зоне обработки под действием частиц среды, зависят не только от усилия соударения, но и от размера частицы и высоты исходных микровыступов.

Контактная поверхность вследствие её зависимости от угла соударения и формы исходной шероховатости имеет сложную пространственную форму. В случае обработки стальными полированными шариками представляется возможным принять эллипсоидную форму номинальной контактной поверхности. Это значительно упрощает дальнейшие теоретические расчёты.

Пятно контакта частицы среды с поверхностью детали представляет собой эллипс, размеры полуосей которого:

$$b = \sqrt{R^2 - \left(R - h_{\max}\right)^2}; \qquad a = \frac{\pi}{2} \cdot \left(ctg\alpha - f\right) \cdot h_{\max} + b, \qquad (3)$$

где f - коэффициент трения частицы по поверхности детали.

Пластическое деформирование поверхности детали происходит при многократном взаимодействии с ней частиц среды. Образуются единичные лунки с поперечной шероховатостью, зависящие от параметров исходного

профиля. Микрорельеф поверхности образуется путём наложения и пересечения единичных следов (лунок).

Если прекратить процесс обработки до получения установившейся шероховатости, будет наблюдаться увеличение опорной поверхности профиля по сравнению с исходной.

Продолжение процесса приведёт к передеформированию выступов исходной шероховатости в том случае, если детали изначально не имели очень высокую твёрдость и значительную исходную шероховатость.

На поверхности детали образуется новый специфический микрорельеф, характеризующийся однородностью свойств по всем направлениям. При продолжении процесса обработки он постоянно воспроизводится, а его параметры не будут изменяться в некоторый промежуток времени (вплоть до наступления перенаклёпа поверхности). Параметры установившейся шероховатости будут определяться только технологическими режимами и размерами частиц среды.

Среднее арифметическое отклонение профиля установившейся шероховатости при ППД ГГС можно определить по зависимостям:

- для отделочно-упрочняющей вибрационной и центробежно-ротационной обработки

$$R_{a\ \text{уст}} = k_R \cdot \sqrt{\frac{h_{\max} \cdot a \cdot b \cdot l_{ед}}{R^2}}\ , \qquad (4)$$

$l_{ед}$ - единичная длина, k_R - эмпирический коэффициент;

- для обработки дробью

$$Ra_{уст} = 0.009 \cdot \frac{b}{R} \sqrt{h_{\max} \cdot l_{ед}}\ . \qquad (5)$$

Снижение высотных параметров исходной шероховатости при ППД ГРС имеет сложный характер. Поэтому получить строгую теоретическую модель для определения времени обработки пока не представляется возможным.

Как отмечают многие исследователи [2,8], изменение шероховатости поверхности носит экспоненциальный характер. Скорость образования нового рельефа снижается от максимального значения в начальный период, до значений, мало отличающихся от нуля к моменту образования установившейся шероховатости, что свидетельствует о формировании непрерывно воспроизводимого рельефа поверхности. Каждой комбинации технологических параметров соответствуют такая удельная плотность взаимодействий и такой уровень энергии частиц среды, которые однозначно определяют как продолжительность периода, так и высотные параметры установившегося рельефа, причем последние зависят от исходной шероховатости.

Вышеуказанным условиям удовлетворяет выражение

$$Ra = \left(Ra^u - Ra_{уст} \right) e^{-k_u t} + Ra_{уст}\ , \qquad (6)$$

где Ra^u - среднее арифметическое отклонение профиля исходной шероховатости; k_u - коэффициент интенсивности уменьшения шерохова-

тости; t – время обработки; $Ra_{уст}$ - установившаяся шероховатость поверхности.

Выразив из полученной зависимости (6) время обработки, получим следующую формулу:

$$t_з = -\frac{1}{k_и} \cdot \ln \frac{R_{a\ з} - R_{a\ уст}}{R_{a\ исх} - R_{a\ уст}}, \quad (7)$$

где $k_и$ - коэффициент интенсивности изменения шероховатости; $R_{a\ исх}$, $R_{a\ з}$, $R_{a\ уст}$ - исходная, заданная и установившаяся шероховатость поверхности соответственно.

При решении технологических задач ППД ГРС важное значение имеет аналитический расчет ожидаемого значения глубины упрочненного слоя и степени упрочнения. От толщины упрочненного слоя $h_н$ зависят многие эксплуатационные свойства деталей, например, усталостная прочность. Величина $h_н$ определяет зону поверхностного слоя, в которой имеются остаточная деформация зерен и дислокаций кристаллической решетки, образованные в результате приложения внешней нагрузки. Аналитическое определение толщины упрочненного слоя и степени упрочнения в зависимости от физико-механических свойств материала детали и параметров процесса является очень сложной задачей. Существующие математические зависимости, выведенные несколькими авторами [9,10], были получены на основе теории упругости или пластичности после принятия многочисленных упрощений и допущений.

Значительные исследования в этой области проведены И.В. Кудрявцевым, В.П. Пшибыльским, Е.Г., Папшевым и др. [9,10,11].

В работе [9] приведена зависимость для определения глубины упрочненного слоя в зависимости от характеристик следа:

$$h_н = 3rk, \quad (8)$$

где k - коэффициент, зависящий от степени наклепа; r - радиус пластического отпечатка.

В случае эллиптической формы отпечатка

$$r = \sqrt{a \cdot b}, \quad (9)$$

где a и b - полуоси эллипса контакта.

На основании приведенных зависимостей для ППД ГРС глубину упрочненного слоя можно определить по формуле:

$$h_н = 3k\sqrt{a \cdot b}. \quad (10)$$

Согласно определения под степенью пластической деформации ε условно принимается отношение радиуса остающейся от вдавливания лунки r к радиусу вдавливаемой сферы R.

В работах [9] также приводится зависимость для определения степени упрочнения:

$$\varepsilon = \frac{r}{R}, \quad (11)$$

где r - радиус пластического отпечатка; R - радиус шарика.

Используем зависимость (11) для определения степени упрочнения при обработке гибкой гранулированной средой.

Учитывая ранее приведенные зависимости (9), (11), можно записать для ППД ГГС

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{h_{\max}}{R} \cdot (2 - \frac{h_{\max}}{R})} \,. \qquad (12)$$

Полученная система моделей прошла комплексную экспериментальную проверку. Установлено, что расхождение между результатами теоретических и экспериментальных исследований не превышают 20%, поэтому система моделей может быть использована для проектирования технологических процессов ППД ГГС, обеспечивающих повышение качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей. На её основе разработаны методика оптимизации технологических процессов и САПР технологических процессов ППД ГГС.

Проектирование технологических процессов при ППД ГГС включает в себя комплекс работ по изысканию, исследованию и расчётам, имеющих целью получение описания предмета проектирования, необходимого и достаточного для создания и реализации нового технологического процесса, удовлетворяющего заданным требованиям. Сложность процесса проектирования, многовариантность технологических решений, большая трудоёмкость определения оптимального варианта вызывают необходимость автоматизации проектных работ.

Для построения математического описания процесса проектирования необходимо провести формализацию, математический аппарат которой позволит описать сложные взаимосвязи, изучаемые технологией, и определить процедуры, позволяющие построить проектные решения. В основу такого аппарата для ППД ГГС могут быть положены полученные выше модели. Они в полной мере отражают всё многообразие технологических ситуаций, содержат описание свойств процесса, пригодное для синтеза алгоритмов. Результаты ППД ГГС можно описать множеством критериев: шероховатость обработанной поверхности; глубина упрочненного слоя; степень упрочнения; время или производительность обработки и т.д.

Полученные модели позволяют представить каждый показатель (критерий) в виде функциональной зависимости от множества исходных данных: управляемых технологических параметров и свойств обрабатываемого материала. Эти зависимости являются исходными в задачах оптимизации и управления.

При моделировании процессов ППД ГГС рассмотрено влияние исходных факторов на основные показатели обработки (технологические режимы, исходная шероховатость поверхности обрабатываемой детали, размеры среды). Это позволило произвести ранжирование технологических факторов, выбрать основные, которые оказывают существенное влияние, определить какие из них следует задавать одним значением, а какие массивом чисел для формирования множества проектных решений.

При создании САПР ТП разработаны технологические алгоритмы по двум методическим направлениям:

1) структурная оптимизация (выбор метода обработки, разработка процессов с минимальным числом операций и станков);

2) параметрическая оптимизация (главным образом оптимизация режимов обработки) отдельных операций.

Выводы. Разработанная САПР ТП позволяет по характеристике детали выбрать возможные методы ППД ГГС (в порядке предпочтительности), для каждого из них определить технологические режимы и характеристики рабочих сред, обеспечивающие минимальное время обработки, рассчитать необходимое количество станков и рабочих сред для выполнения годовой программы, затем путем экономического сравнения выбрать оптимальный вариант технологического процесса.

Библиографический список

1. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии. / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1999.– 621 с.

2. Тамаркин М.А. Теоретические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами: дис… докт. техн. наук. / М.А. Тамаркин. – Ростов н/Д, 1995.

3. Копылов Ю.Р. Виброударное упрочнение: моногр. / Ю.Р. Копылов. – Воронеж: Воронежский институт МВД России, 1999. – 386 с.

4. Трилисский В.О. Объемная центробежно-ротационная обработка деталей / В.О. Трилисский и др. – М.: НИИмаш, 1983. – 53 с.

5. Панчурин В.В. Упрочняющая обработка зубчатых колес транспортных машин центробежно-ротационным способом: дис. ...канд. техн. наук: 05.02.08. / В.В. Панчурин. – М.: МИИЖТ, 1989. – 243 с.

6. Петросов В.В. Гидродробеструйное упрочнение деталей и инструмента. / В.В. Петросов. – М.: Машиностроение, 1977. – 166 с.

7. Машиностроение. Энциклопедия. Технология изготовления деталей машин. TIII – 3/ А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; под общ. ред. А.Г. Суслова, 2000. – 840 с.

8. Отделочно-упрочняющая обработка деталей многоконтактным виброударным инструментом. / А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко и др. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 192 с.

9. Кудрявцев И.В. и др. Повышение прочности и долговечности крупных деталей машин поверхностным наклепом. / И.В. Кудрявцев и др. – М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1970. – 144 с.

10. Пшебыльский В.П. Технология поверхностной пластической обработки. / В.П. Пшебыльский. – М.: Металлургия, 1991 – 476 с.

11. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. / Д.Д. Папшев. – М.: Машиностроение, 1978. – 152 с.

Материал поступил в редакцию 19.05.09.

M.A.TAMARKIN, E.E.TISHCHENKO, V.G.LEBEDENKO

IMPROVEMENT OF QUALITY OF THE BLANKET OF DETAILS AT PROCESSING BY SUPERFICIAL PLASTIC DEFORMATION IN THE FLEXIBLE GRANULATED ENVIRONMENTS

In article results of researches of the basic technological parameters of methods of superficial plastic deformation are presented by the flexible granulated environment. Depth of introduction of a particle of environment, an average arithmetic deviation of a profile of the established roughness, depth of the strengthened layer and hardening degree is defined, dependence of a roughness on time for various kinds of processing by a method of superficial plastic deformation by the flexible granulated environment is resulted.

ТАМАРКИН Михаил Аркадьевич (р. 1950), заведующий кафедрой "Технология машиностроения", доктор технических наук (1995), профессор (1997). Окончил РИСХМ (1972).
Область научных интересов: технологические процессы обработки деталей в гранулированных рабочих средах.
Количество публикаций более 200.

ТИЩЕНКО Элина Эдуардовна, доцент кафедры "Технология машиностроения", кандидат технических наук (2004). Окончила ДГТУ (1999).
Область научных интересов: центробежно-ротационная обработка.
Количество публикаций более 50.

ЛЕБЕДЕНКО Вячеслав Георгиевич (р. 1977), ассистент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды». Окончил ДГТУ (1998).
Область научных интересов: технические процессы обработки деталей дробью.
Количество публикаций 21.

Lina_tishenko@mail.ru

УДК 621.745.3(075.32)

Ю.А. ЗИНЧЕНКО

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ФУТЕРОВКИ ПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Рассматривается задача нахождения состава футеровки, обладающей максимальной стойкостью. Приведены результаты исследования свойств футеровки тигельных печей для выплавки чугуна. Проведено моделирование процесса приготовления смеси для футеровки, и определён её оптимальный состав. Даны рекомендации подбора материалов и технологии приготовления состава футеровки, обладающей максимальной стойкостью.

Ключевые слова: *футеровка, огнеупоры, связующие, термохимическая стойкость, планирование эксперимента, моделирование, оптимизация.*

Введение. В индукционных тигельных плавильных печах вместимостью до 12 тонн жидкого металла используют футеровку из набивных масс, состоящих из зернистых огнеупорных материалов, связующих или минералогических добавок [1]. Материалы футеровки при высушивании и прокалке упрочняются – спекаются. В качестве связующих материалов чаще всего используют следующие материалы: борную кислоту (H_2BO_3); борный ангидрид (B_2O_3); сульфатное жидкое стекло ($Na_2SiO_2 \cdot n\ H_2O$); плавиковый шпат (CaF_2); хлористый кальций ($CaCl_2$) и др. [2]. Количество связующих компонентов в составе огнеупорных масс обычно не превышает 5% от общего объёма. В некоторых составах футеровок количество связующих материалов может достигать 10% [2].

Футеровка печей делается многослойной, каждый слой футеровки имеет свой состав, и к каждому слою футеровки предъявляются определённые требования. Общее количество слоёв футеровки зависит от ёмкости тигля печи и вида сплава [1,4].

Для любой футеровки плавильной печи важнейшим показателем качества является не огнеупорность входящих в неё материалов, а её стойкость (срок службы) [3]. Правильно составленные и приготовленные гетерогенные футеровочные массы после спекания образуют футеровку с заданными физико-химическими свойствами. Общей рекомендацией здесь является необходимость получения максимальной плотности и прочности для исключения проникновения в поры футеровки расплавленного металла и шлака [3]. Последнее обстоятельство обеспечивает возможность получения футеровки с минимальной растворимостью расплавом и шлаком [4].

Анализ данных, изложенных в литературе [1,4], позволил сделать вывод, что авторы рекомендуют составы огнеупорного наполнителя в широком диапазоне размеров зёрен. Для плавильных печей вместимостью до одной тонны может быть рекомендован гранулометрический состав огнеупорного наполнителя внешнего слоя футеровки, представленный в табл.1.

Таблица 1

Гранулометрический состав огнеупорного наполнителя

Песок	Размер зёрен	Количество, %	Форма зёрен	Газопроницаемость при оптимальной влажности, ед., не менее	Объёмная масса, кг/м^3
Грубый	4,0…0,63 мм	5…15	Полуокруглая	900-800	1240
Очень Крупный	0,4…0,315 мм	30…40	Полуокруглая	500-400	1460
Средний	0,2…0,16 мм	50…60	Полуокруглая	200-125	1630
Тонкий, пылевидный	0,1 и менее	2…7	Остроугольная	30 и менее	1850

Кроме рекомендаций гранулометрического состава, в настоящее время рекомендовано широкое разнообразие составов набивных масс футеровок, но их стойкость продолжает оставаться низкой. Работы по увеличению стойкости футеровки в основном направлены на поиски новых материалов с лучшими физико-химическими свойствами [4,5]. Такой путь, как правило, влечёт за собой увеличение стоимости футеровки.

Опыт эксплуатации печей на заводе «Конорд» (г. Ростов-на-Дону) показал, что срок службы чугуноплавильных печей определяется в основном стойкостью слоя футеровки, соприкосаемого с расплавом и шлаком. Толщина внешнего слоя постепенно уменьшается и после 12…15 плавок требует ремонта тигля (полной замены футеровки). Износ футеровки определяется активностью протекания химических реакций между материалами футеровки расплавом и шлаком. Анализ износа футеровки на этом предприятии показал, что повышенный износ средней и нижней зон определяется её повышенной растворимостью в расплаве (химической реакцией перехода кремния из футеровки в чугун). Разность диаметра рабочей зоны тигля в начале использования и перед ремонтом превышала 15%, что соответствовало уменьшению толщины внутреннего слоя футеровки более чем на 40…50%. Дальнейшая эксплуатация печи с таким износом футеровки не допускается.

Ремонт футеровки печи требует её остановки, охлаждения, выбивки тигля и замены всех его слоёв – это длительная и трудоёмкая операция. Поэтому возникла необходимость поиска технологических решений, обеспечивающих увеличение срока службы футеровки. Замена используемых огнеупорных материалов (кварцитов) на другие высокоогнеупорные материалы (хромит, магнезит, корунд и др.) увеличивает срок службы футеровки, однако резко повышает стоимость материалов. Поэтому задачей настоящего исследования были поиски путей увеличения стойкости футеровки без существенного увеличения затрат на производство и без замены используемых в данном производстве материалов.

Постановка задачи исследования. Основной задачей улучшения качества футеровки является поиск совершенствования технологии изготовления футеровки, обладающей повышенной устойчивостью к растворению расплавом и шлаком, что позволило бы увеличить продолжительность её эксплуатации (количество плавок до полного ремонта).

Стойкость тигля – комплексный показатель качества футеровки, который определяется рядом её физических и рабочих свойств:

1) пористость и плотность упаковки компонентов – объёмная масса, кгс/м^3.

2) газопроницаемость – безразмерная величина;

3) тепловое линейное и объёмное расширение, %;

4) устойчивость к деформации футеровки под воздействием массы шихты при высоких температурах – способность противостоять одновременному воздействию высоких температур и массы шихты;

5) трещиноустойчивость – способность противостоять, не разрушаясь, резким изменениям температуры;

6) прочность – предел прочности при растяжении, сжатии, срезе, кгс/см^2;

7) шлакоустойчивость – способность противостоять физическому и химическому воздействию расплавленного шлака;

8) поверхностная прочность – способность противостоять истиранию и ударам компонентов шихты;

9) химическая инертность – способность противостоять воздействию печной атмосферы.

Исследования макроструктуры темплетов (образцов из разных зон изношенной футеровки) под микроскопом (х50…100) показали, что повышенный износ футеровки обоснован проникновением жидкого расплава в её поры и, как следствие, её повышенная интенсивность растворения расплавом. Механизм образования микропор и трещин в футеровке имеет сложный характер и определяется многими факторами (качеством проведения ремонтных работ, интенсивностью проведения плавок, тепловой нагрузкой на печь, составом металлической шихты, режимами плавки и пр.) Для поиска технологических решений, направленных на повышение стойкости футеровки, был выбран метод исследования состава и макроструктуры футеровки как сложной гетерогенной системы. В первую очередь исследования были направлены на оценку газопроницаемости (плотности упаковки зёрен огнеупорного наполнителя футеровки) и анализ взаимовлияния компонентов на её прочностные и технологические свойства. Показателями прочности считали: прочность при разрыве; прочность при сжатии; поверхностная прочность (осыпаемость); трещиноустойчивость (снижение прочности при резком изменении температуры). Выбранные показатели прочности определяли разрушением образцов по стандартной методике на разрывной машине мод. 084М2. Прочность определяли при нормальной (25 $\pm$5 ^{0}С) и повышенной (1000 $\pm$5 ^{0}С) температурах.

Необходимый гранулометрический состав огнеупорного наполнителя составляли расчётным путём по известной методике соотношения размеров зёрен с целью наиболее плотной их упаковки [5]. Пористость наполнителя изменяли вводом мелкодисперстного наполнителя – маршалита. Тонкость помола маршалита контролировали рассевом - по величине

остатка зёрен на сите с сеткой № 008 (5476 отв./см^2). Указанный остаток зёрен составлял не более 10%, что соответствовало расчётным требованиям. Величина удельной поверхности зёрен маршалита при такой дисперстности находилась в пределах 280…320 см^2/г [5]. Общую удельную поверхность наполнителя определяли расчётом для корректировки количества связующего.

Содержание связующего материала – борной кислоты изменяли в составе футеровочной массы в широких пределах. Недостаточное количество связующего материала приводило к снижению прочности, а избыточное – к снижению огнеупорности. Поиск оптимального количества связующего в составе футеровочной массы был очевиден.

Особое внимание уделяли вопросу эффективности распределения связующего в межзёренном пространстве в процессе перемешивания компонентов. Эффективность распределения связующего во многом зависит от технологии перемешивания компонентов и типа смесителя. Традиционно процесс приготовления футеровочной массы проводят в смесителях лопастного или каткового типов [1,2]. Было принято решение – проводить исследования для каждого типа смесителя отдельно с целью определения лучшего результата.

Очевидно, что намеченный путь исследований мог пояснить некоторые закономерности взаимовлияния компонентов на свойства футеровки, но интуитивный подход к решению задачи не мог дать желаемых результатов. Поэтому для достижения намеченной цели – определения оптимального состава и условий приготовления состава футеровки, обладающей максимальной стойкостью, был выбран метод математического моделирования с помощью планирования эксперимента [6].

В качестве функций отклика были выбраны следующие показатели свойств футеровки:

Y_1- G_p – прочность при разрыве в прокалённом состоянии при температуре 1000^{0}С, кгс/см^2;

Y_2-$G_{ср}$ – прочность при срезе в прокалённом состоянии при температуре 1000^{0}С, кгс/см^2;

Y_3-«Г» – газопроницаемость при температуре 25^{0}С, ед. – безразмерная величина;

Y_4-«П» – трещиноустойчивость – способность противостоять резкому изменению температуры, циклов.

Выбор показателя «Г»- (газопроницаемость) мог характеризовать плотность упаковки зёрен наполнителя и заполнения пор связующим после его оплавления. Этот показатель свойств футеровки легче контролировать известными методами и характеризовать объективными величинами. Тем более что этот показатель имеет тесную связь с другими важнейшими свойствами футеровки. При одинаковом гранулометрическом составе огнеупорного наполнителя физико-химические и прочностные свойства футеровки могут получаться совершенно разными.

Известно, что эффективность равномерного распределения связующего в межзёренном пространстве, исполняющего роль припоя при прокалке (образование мостиков связи), характеризуется, в частности, пористостью [5].

В качестве управляемых факторов были выбраны следующие показатели:

X_1 – содержание маршалита в общем общей массе наполнителя, %;

X_2 – содержание борной кислоты в общей массе футеровки, %;

X_3 – продолжительность перемешивания компонентов в смесителе, мин.

Для решения поставленной задачи был намечен и реализован план полного факторного эксперимента (ПФЭ), позволяющий получить полную квадратичную модель. Интервалы варьирования факторов и вид модели представлены в табл.2.

Таблица 2

Общие данные проведения испытаний

Фактор	Наименование	Ед.изм	Уровень-1	Уровень +1
X_1	Содержание маршалита	%	20	30
X_2	Содержание борной кислоты	%	1	5
X_3	Продолжительность перемешивания	Мин.	10	20
Отклик	Название	Ед. изм.		
Y_1	Прочность при разрыве	кгс/см^2		
Y_2	Прочность при срезе	кгс/см^2		
Y_3	Газопроницаемость	усл. ед.		
Y_4	Трещиноустойчивость	Цикл		
Модель	$Yi=B_o+B_1x_1+B_2x_2+B_3x_3+B_{12}x_1x_2+B_{13}x_1x_3+B_{23}x_2x_3+B_{11}x_1^2+B_{22}x_2^2+B_{33}x_3^2$;			
Тип плана		Полный факторный эксперимент (варьирование факторов на двух		
Количество повторных опытов		уровнях)	три	

Методики определения свойств футеровки требовали индивидуального подхода. Известные методы определения свойств огнеупорных материалов к решению поставленной задачи были непригодны. Последнее обстоятельство определено тем, что известные методы определения свойств огнеупоров используют для контроля качества готовых фасонных изделий, применяемых для футеровки плавильных печей большой ёмкости. Поэтому методики проведения испытаний разрабатывали исходя из поставленной задачи, а также имеющегося в лаборатории оборудования и оснастки.

Проведение испытаний. Для решения поставленной задачи был составлен и реализован план полного факторного эксперимента (ПФЭ), представленный в табл.3.

Таблица 3

Матрица планирования и результаты непосредственных измерений

№	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$Y_{1\,ср.}$	$Y_{2\,ср}$	$Y_{3\,ср.}$	$Y_{4\,ср.}$
1	1	1	1	1	1	1	1	8,2	2,2	22,7	7,7
2	1	-1	1	1	-1	-1	1	9,7	2,1	36	10,3
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	3,3	1,76	24,6	4
4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	3,13	1,56	38,3	3,3
5	1	-1	1	-1	-1	1	-1	9,93	1,5	38	8
6	1	1	-1	-1	-1	-1	1	3	1,2	32,6	5
7	1	1	1	-1	-1	-1	-1	7,1	1,7	22,3	7,3
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	3,5	1,6	39	4,3

Сухие компоненты футеровочной массы по плану варьирования факторов загружали в катковый (первый вариант) или лопастной (второй вариант) смесители и перемешивали в установленный планом интервал времени. Образцы для испытаний изготавливали в специальной оснастке методом уплотнения смеси на лабораторном копре (три удара падающего груза массой 6,35 кг) [3]. Изготовленные образцы имели различную форму для каждого вида испытаний: цилиндрические образцы (диаметр 50 мм, высота 50 мм) – для испытаний прочности при срезе, измерения газопроницаемости, измерения термической стойкости; образцы сложной формы (типа восьмёрки) – для испытания прочности при разрыве.

Изготовленные таким способом образцы подвергали спеканию в муфельной печи при температуре $1000-^{+}5^{0}$С в течение одного часа. Прокалённые образцы извлекали из печи и проводили испытания «горячей» прочности при разрыве на приборе модели 084М2. Аналогично определяли «горячую» прочность при срезе на цилиндрических образцах.

Газопроницаемость определяли стандартной методикой на приборе модели М42, охлаждённых до комнатной температуры цилиндрических образцах, закреплённых в специальной оснастке.

Термическую стойкость определяли по оригинальной методике. Прокалённый цилиндрический образец после извлечения из печи устанавливали под струю атмосферного воздуха, создаваемую вентилятором. Обдув воздухом проводили до момента полного охлаждения образца до комнатной температуры. Охлаждённый образец вновь помещали в нагретую до 1000^{0}С печь и по истечении 15-минутного нагрева подвергали охлаждению до комнатной температуры. Показателем термостойкости образца считали количество циклов нагрева и охлаждения (термошок) до появления первой трещины, которую обнаруживали визуально.

Результаты эксперимента и их анализ. В результате реализованного плана экспериментов (ПФЭ) были рассчитаны коэффициенты искомых откликов - уравнений регрессии [7]. Был проведён статистический анализ регрессионных моделей и коэффициентов в отдельности. Результаты представлены в табл.4.

Таблица 4

Результаты эксперимента

Коэффициенты для отклика «$У_1$»		B_0	B_1	B_2	B_3	B_{12}	B_{13}	B_{23}	B_{11}	B_{22}	B_{33}
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Оценка значим.	Доверит. интервал ΔB_i=0,16	1,700	0,012	0,170	0,200	0,060	0,060	0,072	0,012	0,017	0,020
		Значим	Незнач.	Значим	Значим	Незнач.	Незнач.	Незнач.	Незнач.	Значим	Значим
Модель		$У_1=1,7+0,17x_2+0,2x_3+0,17x_2^2+0,2x_3^2$					$F_{расч}$= 8,7	$F_{табл}$=19,3 P=0,05		Модель адекватна!	
Коэффициенты для отклика «$У_2$»		B_0	B_1	B_2	B_3	B_{12}	B_{13}	B_{23}	B_{11}	B_{22}	B_{33}
Оценка значим.	Доверит. интервал ΔB_i=1,76	5,980	-0,58	2,750	0,100	0,500	0,250	0,110	0,580	2,750	0,100
		Значим	Незнач.	Значим	Незнач.	Незнач.	Незнач.	Незнач.	Незнач.	Знач.	Незнач.
Модель		$У_2=5,98+2,75x_2+2,75x_2^2$					$F_{расч}$= 17,2	$F_{табл.}$=19,3 P=0,05		Модель адекватна!	

Окончание табл.4

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Коэффициенты для отклика «$У_3$»		B_0	B_1	B_2	B_3	B_{12}	B_{13}	B_{23}	B_{11}	B_{22}	B_{33}
Оценка значим.	Доверит. интервал ΔB_i=2,92.	31,70	-6,10	-1,34	-1,28	-1,12	-0,61	0,89	-6,10	-1,34	-1,28
		Значим.	Значим.	Незнач.	Незнач.	Незнач.	Незнач.	Незнач.	Значим.	Незнач.	Незнач.
Модель		$У_3=31,7-6,1x_1-6,1x_1^2$					$F_{Расч}$= 8,35	$F_{Табл.}$=19,3 P=0,05		Модель адекватна!	
Коэффициенты для отклика «$У_4$»		B_0	B_1	B_2	B_3	B_{12}	B_{13}	B_{23}	B_{11}	B_{22}	B_{33}
Оценка значим.	Доверит. интервал ΔB_i=1,21	6,200	-0,20	2,090	0,080	-0,60	-0,23	0,590	-0,20	2,090	0,080
		Значим.	Незнач.	Значим.	Незнач.	Незнач.	Незнач.	Незнач.	Незнач.	Значим.	Незнач.
Модель		$У_4=6,2+2,09x_2+2,09x_2^2$					$F_{Рас}$= 10,0	$F_{Табл}$=19,3 P=0,05		Модель адекватна!	

В результате была получена следующая модель для искомого отклика – прочности при разрыве в кодированных единицах:

$$Y_1=1,7+0,17X_2+0,2X_3+0,17X_2^2+0,2X_3^2.$$

Анализ модели свидетельствует, что из всех влияющих факторов наиболее влиятельным на прочность футеровки при разрыве является фактор «X_3» - время перемешивания компонентов в смесителе.

Аналогично была получена модель для искомого отклика - прочности футеровки при срезе в кодированных единицах:

$$Y_2= 5,98+2,75X_2+2,75X_2^2.$$

Анализ модели свидетельствует, что единственным влияющим фактором на прочность при срезе является фактор «X_2» - содержание борной кислоты, %.

Для искомого отклика Y_3- газопроницаемости, характеризующей плотность, бала получена следующая модель:

$$Y_3=31,7-6,1X_1-6,1X_1^2.$$

Анализ модели свидетельствует, что единственным влияющим фактором является содержание мелкодисперсного наполнителя – маршалита, %.

Для функции отклика «Y_4» – термостойкости была получена следующая модель:

$$Y_4=6,2+2,09X_2+2,09X_2^2.$$

Единственным влияющим фактором на термостойкость являлся фактор «X_2» - содержание борной кислоты, %.

Аналогично были получены уравнения для искомых функций откликов для лопастного смесителя:

$$Y_1=1,24+0,28X_2-0,2X_1X_2+0,28X_2^2;$$
$$Y_2=3,64+1,65X_2+1,65X_2^2;$$
$$Y_3=31,66-6,98X_1-6,98X_1^2;$$
$$Y_4=4,27+0,99X_2+0,99X_2^2.$$

Следующим этапом после получения искомых моделей, описывающих локальные области факторного пространства по отдельным функциям откликов, надлежало принять решение: как найти оптимальный состав футеровки? Следует ли оптимизировать технологию в направлении градиента условной обобщающей целевой функции (если конечно она существует и может быть получена)? Либо, проанализировав поверхности всех откликов функций, определить оптимум методом вариационного вычисления для

каждого смесителя отдельно? Для этого с помощью программного средства Mathcad 13 [9] были получены графики условных экстремумов функций (рис.1-4).

На рис.1 показана зависимость прочности футеровки при разрыве ($У_1$) от содержания борной кислоты (X_2), времени перемешивания в смесителе (X_3) в кодированных значениях.

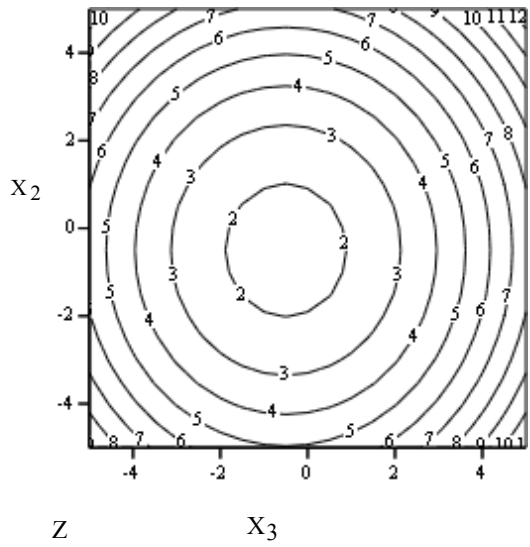


Рис.1. Прочность при разрыве в нагретом (1000^0C) состоянии

На рис.2 представлена зависимость прочности при срезе ($У_2$) от содержания маршалита (X_1) и борной кислоты (X_2) в кодированных значениях.

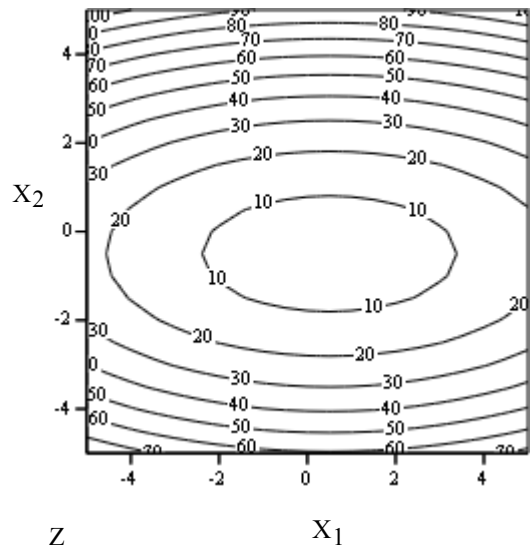


Рис.2. Прочность при срезе в нагретом (1000^0C) состоянии

На рис.3. мы видим зависимость термостойкости футеровки ($У_4$) от содержания маршалита (X_1) и борной кислоты (X_2) в кодированных значениях.

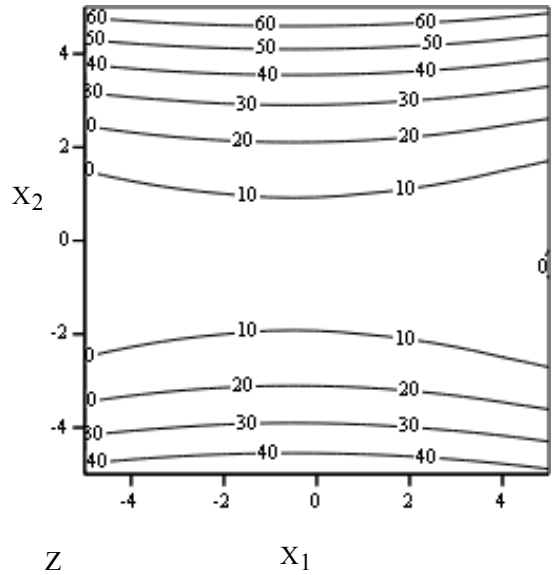


Рис.3. Термостойкость циклов

На рис.4 показана зависимость газопроницаемости образцов футеровки ($У_3$) от содержания маршалита (X_1) и борной кислоты (X_2) в кодированных значениях.

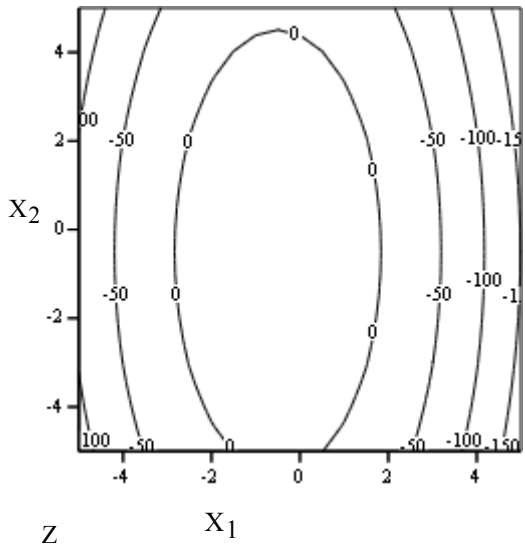


Рис.4. Газопроницаемость образцов футеровки после спекания

Проведённый анализ поверхностей откликов и их точек экстремумов свидетельствовал о том, что точки условных максимумов и минимумов целевых функций лежат в разных областях, и обобщённая функция, описывающая необходимое качество футеровки, не может быть составлена. Единственный путь поиска условного оптимума может быть получен с помощью метода вариационного исчисления по составленной программе в установленных границах факторов.

С помощью вариационного исчисления были получены наиболее перспективные составы футеровки для каждого смесителя отдельно. Полученные расчётом составы после некоторого анализа считали оптимальными [8].

Реализация исследований на производстве. По рекомендованным составам приготавливали состав и изготавливали футеровку производственных плавильных печей для выплавки чугуна. Технологию изготовления футеровки из рекомендованных составов не меняли. Хотя лабораторные испытания показали, что лучшими свойствами обладает смесь компонентов, приготовленная в катковом смесителе, в производственных условиях смесь приготавливали в имеющемся лопастном смесителе.

Производственные испытания подтвердили предложенные рекомендации, направленные на повышение стойкости футеровки оптимизацией её состава. В производственных условиях стойкость экспериментальных составов футеровки увеличилась более чем в два раза и достигала 32…36 плавок до ремонта печи.

Технологу и начальнику литейного цеха завода «КОНОРД» (г. Ростов-на-Дону) были переданы следующие технологические рекомендации.

1. Гранулометрический состав огнеупорного наполнителя можно ограничить одним кварцевым песком с высоким содержанием диоксида кремния (SiO_2>97%) с сосредоточенной зерновой структурой. Содержание крупнозернистой составляющей должно находиться в пределах 80% (величина среднего диаметра зерна $D_{ср}=27\cdot10^{-5}$ м), а тонкой и пылевидной фракций – 20%. Соответственно (величина среднего диаметра зерна $D_{ср}=57\cdot10^{-6}$м).

2. Технология приготовления состава футеровки предусматривает замену лопастного смесителя смесителем каткового типа с продолжительностью перемешивания компонентов не менее 10 минут.

3. Продолжительность работы футеровки (стойкость) может быть ещё значительно увеличена в случае замены кварцитов на материалы более высокой огнеупорности, например, дистен-силиманитовый концентрат или корунд, с сохранением рекомендованного гранулометрического состава и количества связующего.

Выводы. Математическое моделирование позволяет не только анализировать влияние отдельных факторов на целевую функцию, а в некоторых случаях и их совместное влияние, но и находить экстремум обобщённой функции. В данном случае обобщённой функцией была определена стойкость футеровки, которую отдельными свойствами гетерогенной системы оценить невозможно. Применение метода математического моделирования позволило определить состав и значительно (на 40-50%) увеличить стойкость футеровки плавильных печей без замены используемых материалов.

Библиографический список

1.Трофимов М.Г. Футеровка индукционных печей / М.Г. Трофимов. – М.: Металлургия, 1968. – 288 с.

2.Бут Ю.М. Химическая технология вяжущих материалов: учебник для вузов под ред. В.В. Тимашова / Ю.М. Бут, М.М Сычёв, В.В. Тимашов. – М.: Высшая школа, 1980. – 472 с.

3. Дудеров И.Г. Общая технология силикатов/ И.Г.Дудеров, Г.М.Матвеев, В.Б. Суханова. – М.: Стройиздат, 1987. – 560 с.

4. Долотов Г.П. Печи и сушила литейного производства / Г.П. Долотов, Е.А. Кондаков. – М.: Машиностроение, 1990. – 304 с.

5. Берг П.П. Качество литейной формы / П.П. Берг. – М.: Машиностроение, 1970. – 286 с.

6. Глинский Б.А. Моделирование как метод научного исследования / Б.А. Глинский, Б.С.Грязнов, Б.С.Дынин, Е.П. Никитин и др. – М.: Изд. Моск. гос. ун-та, 1985. – 125 с.

7. Цимбал В.П. Математическое моделирование металлургических процессов / В.П. Цимбал. – М.: Металлургия, 1986. – 253 с.

8. Зинченко Ю.А. Моделирование и оптимизация процессов литейного производства: учеб. пособие / Ю.А. Зинченко. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2001. – 68 с.

9. Кирьянов Д.В. Mathcad 13. / Д.В. Кирьянов. – СПб: «БХВ-Петербург», 2006. – 608 с.: ил.

Материал поступил в редакцию 27.03.09.

J.A. ZINCHENKO

OPTIMIZATION OF ISOLATION STRUCTURE OF SMELT FURNACES

The problem about funding of structure of isolation with greatest stability is considered. In the article, there are results of isolation characteristics of crucible furnaces for smelting of cast iron. Modeling of mix preparing for isolation is carried out and its optimal structure is defined. Recommendations of selection and preparing of structure of isolation with the greatest resistance are given.

ЗИНЧЕНКО Юрий Алексеевич (р.1950), директор филиала ГОУ ВПО ДГТУ в г. Ессентуки, кандидат технических наук (1982), доцент. Окончил РИСХМ (1974) по специальности «Машины и технология литейного производства».

Область научных интересов: формовочные материалы, смеси, литейные формы, регенерация песка из отработанных смесей литейных цехов; автоматизация и оптимизация процессов литья.

Автор более 43 научных статей, в том числе имеет 2 авторских свидетельства СССР.

УДК 621.436.1.01: 631.37-021.465

Е.Н.ЗАКАЛИН, А.П.РУСИН

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ОГРАНИЧЕННЫМ ТЕПЛООТВОДОМ

Приводятся результаты анализа по улучшению качества дизеля за счет ограничения теплоотвода. Рассматриваются особенности повышения степени влияния тепловой изоляции на основные параметры двигателя, возможность утилизации энергии отработанных газов.
Ключевые слова: *качественные показатели, тепловая изоляция, теплозащитные покрытия, диффузное горение, эффективный расход топлива.*

Введение. В современных условиях обеспечить конкурентоспособность продукции на рынке возможно только при максимальном удовлетворении потребителя. Именно такой подход заложен в первом принципе международных и национальных стандартов по качеству в редакции 2000 года.

Качество объекта в целом определяется большим числом показателей. Среди них показатели технологичности и экономичности, эргономические и эстетические и многие другие. Качество работы автомобильной и сельскохозяйственной техники для потребителя в большой степени определяется конструктивными показателями.

Постановка и решение задачи. Создание дизельных двигателей с ограниченным теплоотводом рассматривается как одно из перспективных направлений повышения их технических характеристик. По сравнению с обычными такие двигатели обладают рядом преимуществ:

- уменьшение объёма системы охлаждения и затрат мощности в этой системе;
- увеличение энергии отработанных газов, позволяющее повысить эффективный КПД;
- повышение индикаторного КПД за счет сокращения тепловых потерь.

Практическая реализация указанных преимуществ является сложной и весьма трудоемкой задачей. В связи с этим проводятся комплексные расчетно-экспериментальные исследования с целью повышения качества двигателя за счет ограничения теплоотвода и системы утилизации энергии отработанных газов, обеспечивающих достижение более высоких технико-экономических показателей.

Анализ статей зарубежных авторов [1, 2] показывает, что эмпирические зависимости для обычного дизеля не отражают особенностей цикла нового двигателя. Анализ влияния энергетического состояния заряда цилиндра на смесеобразование и сгорание дал возможность определить наиболее важные изменения указанных процессов. Оказалось, что сокращение на 45...55% теплоотвода в систему охлаждения дизеля рассматриваемой размерности со свободным газотурбинным наддувом может повысить температуру заряда к моменту впрыска топлива на 20...25%, увеличить плотность заряда цилиндра до 12...14% и давление в камере сгорания до 30...33%. Таким образом, при указанных условиях энергия заряда возрастает в среднем до 25...30%.

В случае 50 % сокращения теплоотвода в систему охлаждения базового дизеля-прототипа возможно значительное увеличение дисперсности распыливания топлива (40...50 %), уменьшение дальнобойности топливной струи (12...14 %) и соответственное снижение скорости распространения фронта струи. Расчет смесеобразования показал существенное уменьшение количества подготовленной за период задержки самовоспламенения топливовоздушной смеси, что обусловливает резкое ухудшение динамики тепловыделения в номинальном режиме работы. Наблюдалось ускорение процесса в теплоизолированной камере сгорания, свойственное как кинетическому, так и диффузионному горению. Однако скорость диффузионного сгорания значительно меньше, чем кинетического, поэтому тепловыделение в рассматриваемом двигателе по мере увеличения степени тепловой изоляции может быть более продолжительным.

Анализ процесса сгорания вблизи огневой поверхности камеры сгорания позволил сделать вывод о том, что этот эффект можно снизить за счет увеличения температуры деталей, формирующих камеру сгорания. Это позволит улучшить процесс сгорания, топливную экономичность и экологические характеристики. Наряду с этим могут возникнуть негативные эффекты, которые способны повлечь за собой ухудшение параметров двигателя.

К ним в первую очередь следует отнести:

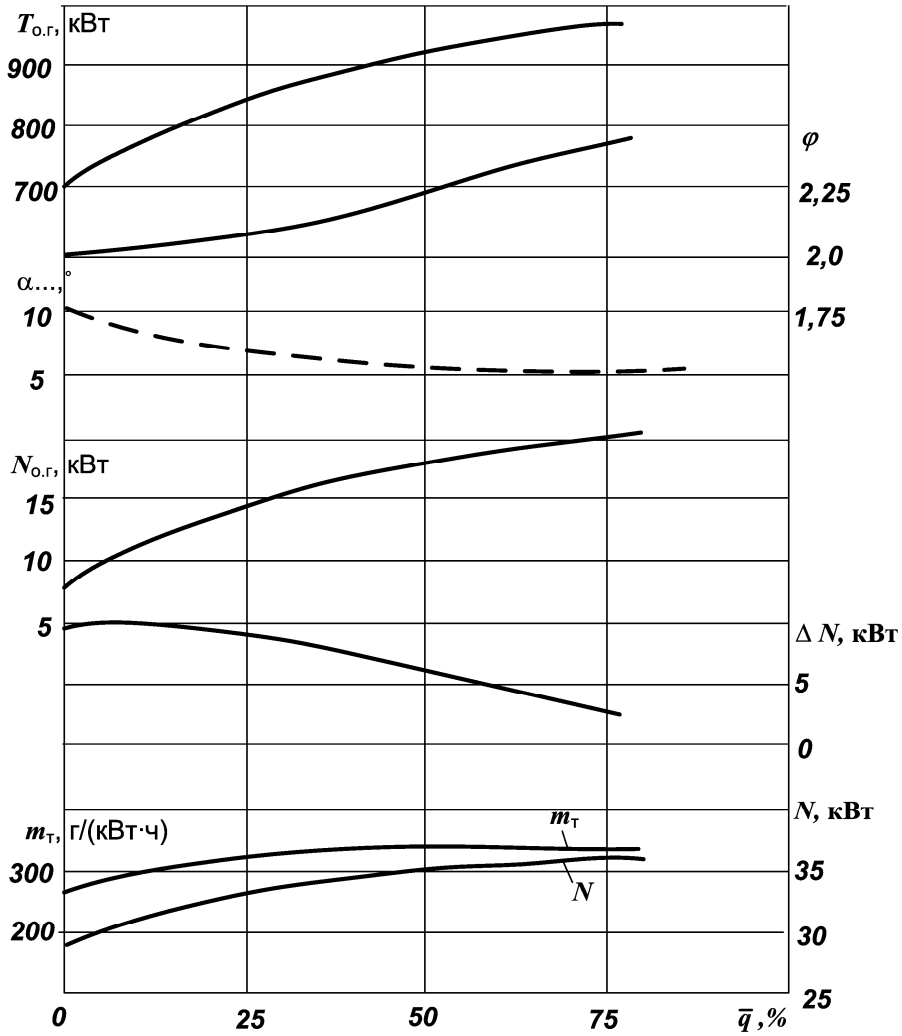
- увеличение локальных коэффициентов теплоотдачи от рабочего тела к высокотемпературной стенке в определенных зонах в определенные моменты цикла;
- появление зон с переобогащённой топливовоздушной смесью и нарушение рационального распределения локальных значений коэффициента избытка воздуха вблизи стенок;
- переохлаждение орошаемой топливной струей поверхности камеры сгорания с малой теплоаккумулирующей способностью;
- попадание некоторого количества топлива в поры теплоизоляционного материала и некоторые другие.

При условии реализации процесса в теплоизолированной камере сгорания с использованием обычных приемов может произойти увеличение продолжительности тепловыделения в режиме номинальной мощности, которое связано с понижением индикаторного КПД.

Тепловую изоляцию должны иметь все поверхности камеры сгорания. Неизолированные поверхности вызывают резкое возрастание тепловых потоков, которые уменьшают эффект сокращения тепловых потерь в систему охлаждения. Кроме того, тепловая изоляция на огневых поверхностях дизеля требует регулировки угла опережения подачи топлива.

Исследования различных способов тепловой изоляции – масляной системы высокотемпературного охлаждения, теплозащитных покрытий из диоксида циркония толщиной до 2 мм на огневых поверхностях головки цилиндров, клапанов вихревых камер цилиндровых втулок, теплоизолирующих накладок из низкотеплопроводной стали или конструкционной нитридной керамики на поршне и др. позволили определить зависимость параметров двигателя от степени тепловой изоляции $\overline{q}$, которая является мерой сокращения теплоотвода в систему охлаждения по сравнению с базовым дизелем.

Так, для режима номинальной мощности (p_e=0,6 МПа, n=1500 мин$^{-1}$) было обеспечено 76 %-ное сокращение теплоотвода, при этом удельный эффективный расход топлива в базовом двигателе увеличился с 268 до 329 г/(кВт·ч) при $\bar{q}$ = 0,76, температура отработанных газов повысилась с 700 до 930 К (рисунок). В ряде макетов с высокой $\bar{q}$ (>20 %) для компенсации потерь наполнения потребовалось использование постороннего источника наддува, суммарный коэффициент избытка воздуха был увеличен до 2,26 при $\bar{q}$ = 0,76, двигатель при этом работал на границе дымления.



Влияние степени теплоизоляции $\bar{q}$ на параметры двигателя с ограниченным теплоотводом при *n* - 1500 мин$^{-1}$: $T_{о.г.}$, $N_{о.г.}$ - температура и мощность отработанных газов; *α* - угол задержки воспламенения (в угловых градусах поворота коленчатого вала); $\tau_т$ - удельный эффективный расход топлива; *φ* -суммарный коэффициент избытка воздуха; Δ*N* - мощность, отводимая в систему охлаждения; *N* — располагаемая мощность

В то же время на режимах частичных нагрузок достигнута более высокая топливная экономичность по сравнению с двигателем-прототипом. Так, на режиме 30 %-ной нагрузки от номинальной (p_e=0,2 МПа, n =1500 мин$^{-1}$) зарегистрировано 5 %-ное сокращение удельного эффективного расхода топлива по сравнению с аналогичным режимом работы базового двигателя. Для улучшения смесеобразования и сгорания, во-первых, необходима интенсификация впрыска топлива с целью обеспечения приемлемых значений фактора динамичности, во-вторых, нужна интенсификация процесса сгорания, особенно на стадии диффузионного горения; в-третьих, снижение воспламеняемости топлива и, в-четвертых, требуется такая организация процесса смесеобразования, которая за счет интенсификации движения воздушного заряда в цилиндре двигателя способствовала бы рациональному характеру процесса тепловыделения. Анализ данных, полученных в ходе комплексного исследования, свидетельствует о том, что при той динамике тепловыделения, которая достигнута в базовом двигателе, можно повысить КПД в среднем на 3...5 %.

Одновременно с уменьшением теплоотвода в систему охлаждения происходит значительное увеличение энергии, отводимой с отработанными газами. Это вызывает необходимость в специальной системе утилизации энергии отработанных газов. Расчетно-теоретическое исследование этого дизеля показало [2], что возросшая энергия отработанных газов используется для компенсации потерь наполнения цилиндра теплоизолированного дизеля лишь частично, а избыточная энергия выпуска в случае эффективного срабатывания ее в агрегате утилизации может давать дополнительный выигрыш в топливной экономичности до 6 %. В ходе анализа отмечено весьма существенное влияние КПД системы наддува и утилизации на эффективность комбинированной установки, при этом была определена возможность обеспечения удельных эффективных расходов топлива турбокомпаундного двигателя с ограниченным теплоотводом двигателя.

Повышение $\overline{q}$ способствует сокращению механических потерь. Можно предположить, что даже в случае, если индикаторный КПД не будет сохранен на уровне серийного двигателя, новый дизель даст некоторый выигрыш в удельном эффективном расходе топлива за счет сокращения механических потерь.

Повышение качества двигателя за счет ограничения теплоотвода, являясь перспективным направлением развития двигателестроения, вскрывает целый комплекс проблем, решение которых может потребовать значительных средств и усилий конструкторов. В частности, потребуется:

1) ограничение теплоотвода от рабочего тела с помощью специальных тепловых барьеров, в том числе разработки керамических конструкционных материалов и теплозащитных покрытий, обладающих специальными служебными свойствами;

2) организация высокоэкономичного рабочего процесса в теплоизолированной камере сгорания;

3) создание эффективных агрегатов системы утилизации энергии отработанных газов и передачи их мощности на вал двигателя.

Вывод. Повышение качества двигателя за счет ограничения теплоотвода позволит улучшить топливную экономичность до 15 %, а массогабаритные показатели до 25 % по сравнению с обычным дизелем.

Библиографический список

1. Komo R., Bryzik W. Cummins – TACOM advanced engine // SAE Techn. pap. ser. – 2004. – № 840428. – P. 21-34.

2. Tovel J.E. The reduction of heat losses to the diesel engine cooling system // Idem. – № 840434. – P. 9.

Материал поступил в редакцию 8.04.09.

J.N. ZAKALIN, A.P. RUSIN

IMPROVEMENT OF DIESEL ENGINE WITH LIMITED THERMAL DRAINAGE QUALITY

There are result of analyze for improvement Diesel engine quality roving to limited thermal drainage in the article. Peculiarities of degree influence thermal isolation for main engine parameters had been considered there. Possibility of waste gases energy utilization was discussed in it.

ЗАКАЛИН Евгений Николаевич (р. 1956), доцент кафедры «Технология технического регулирования» ДГТУ, кандидат технических наук (2005). Окончил Челябинское ВТКУ (1977) по специальности «Инженер по эксплуатации гусеничных и колесных машин».
Научные интересы в области механизации сельского хозяйства.
Автор 9 научных публикаций.

РУСИН Александр Петрович (р. 1948), доцент кафедры «Технология технического регулирования» ДГТУ, кандидат технических наук, член-корреспондент Академии проблем качества. Окончил РИСХМ (1971).
Научные интересы в области квалиметрии, управления качеством.
Автор более 100 научных статей, 1 авторское свидетельство.

achlebunov@dstu.edu.ru

УДК 546.655.3

Н.П. ВАССЕЛЬ, С.Г. КУРЕНЬ, С.С. ВАССЕЛЬ, И.В. ПАВЛОВА

ПОЛУПРОВОДЯЩИЕ ПЛЁНКИ НА ОСНОВЕ СИНТЕЗИРОВАННОГО МЕТОДОМ ТВЁРДОФАЗНЫХ РЕАКЦИЙ ПОЛИФОСФАТА ГАЛЛИЯ

Разработана методика синтеза полифосфата галлия методом обменных твердофазных реакций между нитратом галлия и однозамещенным фосфатом аммония в стехиометрических соотношениях. Представлены результаты исследований физико-химических свойств синтезированного Ga(PO3)3 и композиций на его основе. Разработан состав и изучены свойства полупроводящих плёнок на основе синтезированного данным методом полифосфата галлия.
Ключевые слова: *конденсированные фосфаты, неорганические полимеры, идентификация продуктов, диаграммы состояния, электропроводность.*

Введение. Химические соединения галлия обладают богатым набором уникальных свойств. Их используют в вычислительных устройствах и радарных установках, термоэлементах для солнечных батарей и полупроводниковых приборах ракетной техники, в изготовлении лазеров и создании люминесцентных веществ, в оптических приборах и электронной технике, в качестве цветных оптических сенсоров, биосенсоров и катализаторов органических реакций, в составе светоотражающих и полупроводящих покрытий [1].

Способностью фосфатов металлов является их ярко выраженная склонность образовывать полимерные соединения - конденсированные фосфаты. В последнее время внимание исследователей привлекают конденсированные фосфаты поливалентных металлов. Этот интерес вызван уникальным строением и свойствами конденсированных фосфатов как представителей нового класса неорганических полимеров. Эти соединения используются в качестве огнеупорных, связующих, электроизоляционных и лазерных материалов. Интерес вызывают фосфатсодержащие стекла, имеющие такие преимущества перед силикатными, как более высокий показатель преломления и лучшая пропускная способность в ультрафиолетовом спектре. Из модифицированного фосфатного стекла можно изготовить изделия методами, обычно применяемыми для переработки органических полимеров. Такие стекла можно добавлять к органическим полимерам, после чего их свойства сильно меняются: они становятся более термостойкими, более жесткими, снижается износ при трении.

Химия конденсированных фосфатов трехвалентных металлов изучалась в основном на примере соединений алюминия и редкоземельных элементов, причем обнаружены существенные различия в составе, строении и свойствах этих фосфатов. Конденсированные фосфаты других элементов все еще недостаточно изучены.

Постановка задачи. Одним из рациональных способов поиска новых соединений и фактически важных солевых композиций является изучение фазовых диаграмм состояния систем методом физико-химического анализа. Исследование диаграмм состояния систем является необходимым для выбора оптимальных условий получения и использования соответствующего

вещества (или отдельных композиций). Диаграммы состояния двойных систем с фосфатами трехвалентных металлов изучены мало, а данные о взаимодействии конденсированных фосфатов галлия и одновалентных металлов отсутствуют. Больший радиус иона галлия позволяет предположить, что полифосфат галлия более склонен к комплексообразованию, чем полифосфаты ранее изученных трехвалентных металлов (Al, Cr, Fe и др.). Системы с участием полифосфата галлия интересны исследователям как в теоретическом, так и в практическом плане. Систематическое исследование последних позволит хотя бы частично восполнить пробел и более детально представить общую картину изменения химических и физических характеристик полимерных фосфатов трехвалентных металлов в зависимости от их положения в периодической системе.

Полифосфат галлия до настоящего времени не синтезирован твердофазным методом. Поэтому проведенные нами исследования являются актуальными.

Методика синтеза и исследования. Синтез фосфатов и полифосфатов редкоземельных металлов из растворов сопровождается, как правило, образованием побочных продуктов. Кроме того, осадки, подвергающиеся дальнейшей термообработке, часто получаются в виде гелей и обладают высокой адсорбционной способностью, поэтому содержат примесные фазы.

В настоящей работе полифосфат галлия получен методом твердофазных реакций растворов. Этим методом ранее были синтезированы метафосфаты некоторых металлов [2,3]. Для твердофазного синтеза $Ga(P0_3)_3$ смесь исходных веществ – нитрата галлия и однозамещенного фосфата аммония, взятых в стехиометрических отношениях, тщательно растирают в агатовой ступке до тонкого порошка и медленно нагревают в платиновой чашке при непрерывном перемешивании. Реакционную смесь обводняют при 100–300°С, гомогенизируют и затем медленно обезвоживают при постепенном повышении температуры до 750° С и выдерживают смесь при этой температуре в течение двух часов, после чего её медленно охлаждают до комнатной температуры. Происходящая химическая реакция выражается следующим уравнением:

$$Ga(N0_3)_3 + 3NH_4H_2PO_4 = Ga(P0_3)_3 + 3N_20 + 9H_20.$$

Идентификация продуктов синтеза в кристаллическом состоянии была осуществлена по температурам их плавления, определенным на дериватографе системы Ф. Паулик, И. Паулик, Л. Эрдеи, дифрактограммам, снятым на установке ДРОН-3, и ИК спектрам, записанным на приборе «Specord-75 IK» в интервале 1600…400 $см^{-1}$.

Электронные снимки получены на сканирующем электронном микроскопе "JCM-5700". Измерение электропроводности проведено в измерительных печах в интервале температур 20…450^0С с диапазоном измеряемых значений 10^{-2}…10^{-10} $Ом^{-1}$ на частоте 1000 Гц. Аппаратная погрешность измерений не превышала 1%.

Результаты исследований и их обсуждение. Кривая нагревания полученного $Ga(P0_3)_3$ (рис.1) показывает, что синтезированный полифосфат галлия устойчив вплоть до 960°С. Выше этой температуры $Ga(P0_3)_3$ медленно теряет массу. Плавится соединение при температуре 1245°С. Потери массы при высокой температуре можно объяснить тем, что $Ga(P0_3)_3$ в этих условиях разлагается по схеме:

$$Ga(P0_3)_3 = GaP0_4 + P_20_5.$$

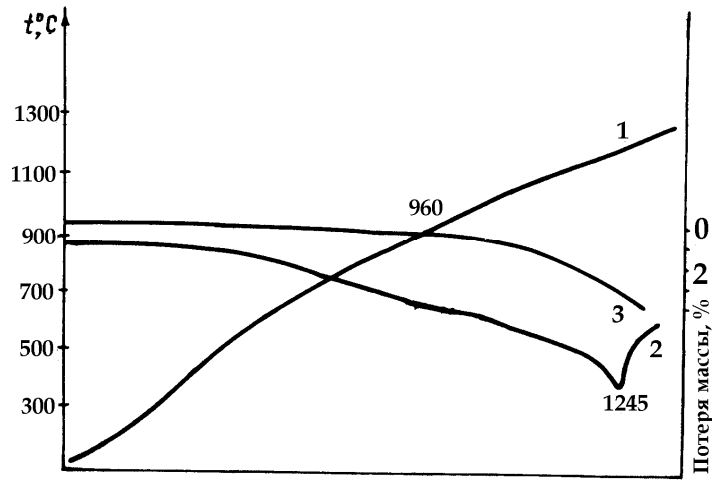


Рис.1. Дериватограммы соединения $Ga(P0_3)_3$:
1 – температурная; 2 – дифференциальная; 3 – с потерей массы

ИК – спектр соединения $Ga(P0_3)_3$ показывает, что в области частот валентных ассиметричных колебаний групп РОР наблюдается несколько полос, самая низкочастотная из которых находится при 975 $см^{-1}$ и самая высокочастотная – при 1090 $см^{-1}$. В области ν_{as} РОР также существуют мультиплеты (770, 760, 675 $см^{-1}$), что позволяет отнести анион соединения $Ga(P0_3)_3$ к цепочечным структурам. Такое строение аниона хорошо согласуется с данными бумажной хроматографии: пятно осталось на старте. ИК спектр $Ga(P0_3)_3$ не выпадает из общей картины спектров полифосфатов трехвалентных металлов:$A/(P0_3)_3$, $Ir(P0_3)_3$, $Sc(P0_3)_3$, $La(P0_3)_3$, $Bi(P0_3)_3$.

Данные рентгенофазового анализа безводного $Ga(P0_3)_3$ приведены в таблице Они подтверждают наличие полученного индивидуального соединения.

Рентгенометрические данные $Ga(P0_3)_3$

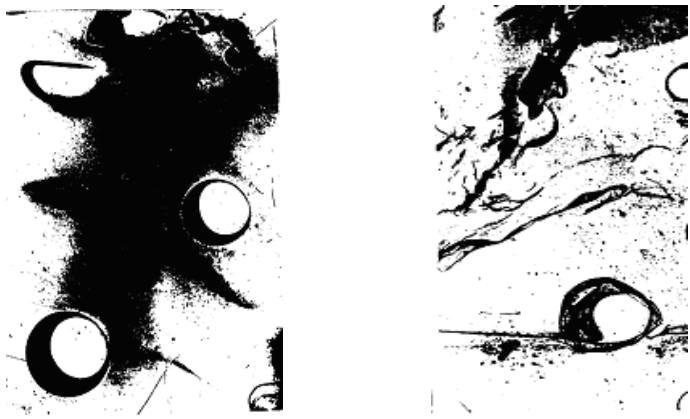
I,%	*d, A*	*I, %*	*d, A*	*I, %*	*d, A*	*I, %*	*d, A*
40	5,13	75	3,36	55	2,69	10	1,81
18	4,57	20	3,22	75	2,39	25	1,68
10	4,19	60	3,08	12	2,30	16	1,81
100	3,80	10	2,88	15	2,25	11	1,49
40	3,63	30	2,84	25	1,99	25	1,38
30	3,52	35	2,75	12	1,91	12	1,30

Результаты проведенного нами химического анализа соединения $Ga(P0_3)_3$ на содержание галлия и фосфора хорошо согласуются с теоретическими данными.

Для синтезированного соединения определены некоторые константы: показатели преломления кристаллов $Ga(P0_3)_3$ равны *Ng*=1.634, *Np*=1.604; плотность соединения 4.960 г/$см^3$; рефракция – экспериментальная 37,04 $см^3$/г-экв. и аддитивная 36,01 $см^3$/г-экв. Удельная электро-

проводность в интервале температур от 20 до 400°С соответствовала 10^{-8} - 10^{-7} $Ом^{-1}см^{-1}$.

На рис.2 приведены электронно-микроскопические снимки поверхностей сколов образца $Ga(P0_3)_3$. Выявлены три основных типа структур, соприкасающихся между собой и местами переходящих друг в друга. Первый тип структуры характеризуется сглаженно-скорлуповатой поверхностью скола с достаточно широкими пустыми каналами, имеющими двухзональное внутреннее строение (см.рис.2,а). Участки этого типа структуры по сложной извилистой границе соприкасаются с участками микробугорчато-паркетовидного строения (см.рис.2,б). В других сколах обнаруживается более сложная, комбинированная структура. Здесь же вместе с многочисленными каналами изометричной овальной и прямоугольной формы четко наблюдаются кристаллы, имеющие форму конусов.



а б

Рис.2. Электронно-микроскопические снимки $Ga(P0_3)_3$:
а – структура со сглаженно-скорлуповатой поверхностью;
б – микробугорчато-паркетовидная структура

Проведено систематическое изучение диаграмм состояния систем $Ga(PO_3)_3$-MPO_3, где M - Li, Na, K, Rb, Cs. В системах с участием полифосфатов лития и натрия, при кристаллизации из расплавов, новых фаз не выявлено [4]. В системах с полифосфатами калия, рубидия и цезия установлено образование новых соединений типа $MGa(PO_3)_4$ [5,6]. Идентификация соединений проведена методами ДТА, РФА и ИК спектроскопии. Методами ИК спектроскопии и бумажной хроматографии установлена полимерная структура аниона выделенных соединений. Новые фазы при охлаждении из расплавов легко образуют стекла. Определены некоторые физико-химические константы фосфатно-галлиевых стекол, в том числе и электропроводность.

Определение электропроводности стекол систем $Ga\ (PO_3)_3$ - MPO_3 (M - Li, Na, K, Rb) для различных составов показало, что наилучшей электропроводностью обладают образцы эвтектических составов. Это объясняется мелкодисперсностью и дефектностью структуры эвтектического состава и тем, что перенос заряда идет на границе раздела фаз. Установлено, что наибольшей электропроводностью обладает эвтектический состав системы $Ga(P0_3)_3$ – KPO_3. При температуре 350°С $lg\ \sigma$ достигает значения 1,38,

т.е. электропроводность увеличивается на 6 порядков с изменением температуры от 20 до 350° С (рис.3).

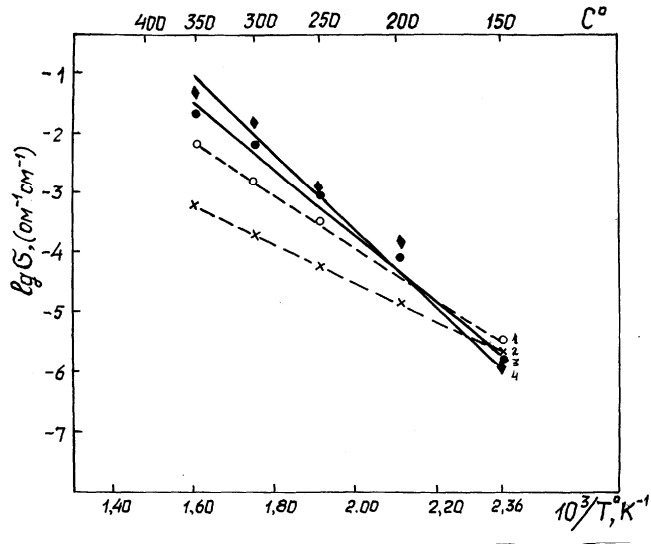


Рис. 3. Характер зависимости *lg* σ от *1/T* для эвтектических составов систем $Ga(PO_3)_3$ – MPO_3: 1 – $LiPO_3$ и $Ga(PO_3)_3$; 2 – $NaPO_3$ и $Ga(PO_3)_3$; 3 – $RbPO_3$ и $Ga(PO_3)_3$; 4 – KPO_3 и $Ga(PO_3)_3$

Электропроводность в образцах систем определяется подвижностью ионов щелочных металлов. С увеличением радиуса катиона электропроводность уменьшается. Этим объясняется, что электропроводность эвтектики системы $Ga(PO_3)_3$ – KPO_3 выше, чем в системах $Ga(PO_3)_3$ – $RbPO_3$. Более высокое значение электропроводности в эвтектике калиевой системы, по сравнению с системами $Ga(PO_3)_3$ – $LiPO_3$ и $Ga(PO_3)_3$ – $NaPO_3$, можно объяснить, по-видимому, тем, что в системе $Ga(PO_3)_3$ – KPO_3 образуется инконгруэнтное соединение, а в литиевой и натриевой системах комплексообразование не наблюдается.

Полученный твёрдофазным методом эвтектический состав системы $Ga(PO_3)_3$ – KPO_3 был использован для создания полупроводящих лент с различным удельным поверхностным электрическим сопротивлением на основе наполненных органических связующих. Известны прототипы электропроводящих покрытий с фосфатом галлия в качестве наполнителя. Нашей задачей было ввести в состав электропроводящего покрытия полифосфат галлия, синтезированный вышеописанным способом, и исследовать характеристики полученных полупроводящих лент.

В качестве связующего наиболее подходящими для полупроводящих лент оказались синтетические каучуки, на основе которых получились очень эластичные ленты, пригодные как для механизированной, так и для ручной намотки. Связующее способно отверждаться при 120…130°С в течение 10…15 минут.

Для отработки технологии получения полупроводящих лент было использовано связующее с содержанием полученной эвтектической смеси 6%...10% и катализаторами отверждения. Содержание нелетучих веществ в связующем - от 20% до 32%. Исходная вязкость связующего составляла

40…120 с. В качестве подложки использованы стеклоленты шириной 20…30 мм и толщиной 80…220 мкм, а также лавсановые и лавсаново-арамидные бумаги.

Для сравнения использовали полупроводящую ленту ЛСП-О-2 в качестве противокоронной защиты. При этом были изготовлены макетные образцы с изоляцией монолит-2 на основе ленты марки ЛСКН-160ТТ.

На образцах полупроводящих лент измерялось поверхностное сопротивление с помощью мегаомметров при напряжении 500 и 2500 В.

Сопротивление низкоомной стеклянной ленты в исходном состоянии и после сушки при 120°С в течение 6 часов составило $2 \cdot 10^3$ Ом; сопротивление высокоомной стеклянной ленты составило: в исходном состоянии - $2 \cdot 10^8$ Ом при напряжении 2500 В и более $5 \cdot 10^8$ Ом при напряжении 500 В; после сушки при 120°С в течение 6 часов - $8 \cdot 10^6$ Ом при напряжении 2500 В и более $5 \cdot 10^7$ Ом при напряжении 500 В; сопротивление высокоомной ленты ЛСП-О-2 при напряжении 2500 В составило $7 \cdot 10^7$ Ом в исходном состоянии и после сушки при 120°С в течение 6 часов.

Полученные результаты показывают хорошие характеристики полупроводящих лент на основе эвтектической смеси, содержащей полифосфат галлия, синтезированный твердофазным методом.

Выводы. 1. Впервые методом твердофазного синтеза получен полифосфат галлия Ga(PO3)3.

2. Диаграммы состояния на основе метафосфата галлия с участием фосфатов одновалентных металлов показали, что образование новых соединений типа $MGa(PO_3)_4$ происходит в системах с полифосфатами калия, рубидия и цезия.

3. Определена электропроводность эвтектических составов систем. Значительное увеличение электропроводности с изменением температуры позволяет отнести эвтектический состав калиевой системы к высокотемпературным твердым электролитам, к которым принято относить материалы с ионной проводимостью выше 10^{-2}-10^{-3} $Ом^{-1}см^{-1}$ [7] и могут быть рекомендованы для дальнейшего исследования и практического применения.

4. Полученный твёрдофазным методом эвтектический состав системы $Ga(P0_3)_3$ – KPO_3 использован для создания полупроводящих лент.

Библиографический список

1. Surface properties and electromagnetic excitation of a piezoelectric gallium phosphate biosensor. Vasilescu Alina, Ballantyne Scott M., Cheran Larisa-Emilia, Thompson Michael. // Analyst. – 2005. – № 2. –С. 213-220.

2. Бухалова Г.А. Синтез полифосфата церия, его характеристика и систематизация фосфатов. / Г.А. Бухалова, И.В.Мардиросова, М.М. Али // Журн. неорг. хим. – 1988. – Т.33. – № 10. – С. 2511.

3. Бухалова Г.А. Синтез и свойства метафосфата марганца. / Г.А. Бухалова, И.Г. Рабкина, И.В. Мардиросова // Журн. неорг. хим. –1975. – Т.20. – № 3. – С. 506-508.

4. Бухалова Г.А. Диаграмма плавкости $Ga(PO_3)_3$ – M^IPO_3 (M^I-Li,Na) / Г.А. Бухалова, И.В. Мардиросова, Н.П. Вассель, М.А. Савенкова // Изв.АН СССР. Неорг. материалы. – 1991. – Т. 24. – №4. – С. 828-831.

5. Мардиросова И.В. Диаграммы плавкости и некоторые свойства системы $Ga(PO_3)_3$ – KPO_3 / И.В. Мардиросова, Н.П. Вассель, М.А. Савенкова, Г.А. Бухалова // Неорг. материалы. – 1992. – Т.28. – №7. – С.1483-1485.

6. Вассель Н.П. Система $Ga(PO_3)_3$– $RbPO_3$ / Н.П. Вассель, М.А. Савенкова, И.В. Мардиросова // Журн. неорг. хим. – 1996. – Вып. 41. – №2. – С.313-315.

7. Укше Е.А. Твердые электролиты. / Е.А. Укше, Н.Г. Букун. – М.: Наука, 1977.– 175 с.

Материал поступил в редакцию 26.02.09.

N.P. VASSEL, S.G. KUREN, S.S. VASSEL, I.V. PAVLOVA

THE SEMICONDUCTOR FILM AT THE BASE OF GALLIUM POLYPHOSPHATE, SYNTHESIZED BY THE METHOD OF SOLID-PHASE REACTION

Gallium polyphosphate was synthesized using the method of solid-phase reaction between $Ga(NO_3)_3$ and $NH_4H_2PO_4$. Some properties of gallium polyphosphate and compound on its basis, such as index of refraction, density, conductivity were studied. New composition of semiconductor film is developed, and the properties semiconductor film at the base of gallium polyphosphate.

ВАССЕЛЬ Наталья Петровна, доцент кафедры химии и биологии Московского государственного университета технологий и управления (филиал в г. Ростове-на-Дону) (1996), кандидат химических наук (1994). Окончила химический факультет РГУ (1976).
Научные интересы связаны с синтезом и исследованием неорганических полимеров.
Автор более 60 научных трудов, имеет 1 изобретение.

КУРЕНЬ Сергей Григорьевич (р.1955), доцент кафедры "Сервис и техническая эксплуатация автотранспортных средств" ДГТУ (2007), кандидат технических наук (2007). Окончил химический факультет РГУ (1977).
Научные интересы связаны с координационной химией, квантово-химическим исследованием свойств технологических сред, новыми конструкционными материалами.
Автор более 90 научных трудов, 2 изобретений, 1 монографии.

ВАССЕЛЬ Сергей Сергеевич (р. 1979), доцент кафедры физики и математики Московского государственного университета технологий и управления (филиал в г. Ростове-на-Дону) (2008), кандидат биологических наук (2006). Окончил физический факультет РГУ (2002).
Научные интересы связаны с математическим моделированием процессов в химико-биологических средах.
Автор 22 научных трудов.

ПАВЛОВА Ирина Васильевна, доцент кафедры «Пищевые технологии и оборудование» Московского государственного университета технологий и управления (филиал в г. Ростове-на-Дону) (2008), кандидат технических наук (2002). Окончила ВЗИПП, филиал в г. Ростове-на-Дону (1978).
Сфера научных интересов: проблемы трения и износа, новые конструкционные материалы.
Автор более 40 научных трудов, 1 изобретения, 1 монографии.

sergeygrigorevich@yandex.ru

УДК 621.3: 517.951

А. П. ПОПОВ, М. Р. ВИНОКУРОВ

РАСЧЁТ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБРАЗЦОВ ФЕРРОМАГНИТНОГО МАТЕРИАЛА

В настоящей статье приводится решение линейной задачи расчета электромагнитного поля в системе проводника, по которому протекает синусоидальный ток, охваченный ферромагнитной проводящей трубой (кольцом). Приведённые аналитические исследования подтверждены экспериментальными данными, результаты которых позволяют с достаточной степенью точности определять характеристики ферромагитных проводящих сред.
Ключевые слова: *электромагнитное поле, система «проводник - ферромагнитное кольцо», функции Бесселя, сильно выраженный поверхностный эффект, теорема Умова – Пойнтинга, ЭДС сигнальной обмотки.*

Введение. Целью данной работы является решение линейной задачи расчета электромагнитного поля в системе проводника, охваченного ферромагнитной проводящей трубой (кольцом), по которому протекает синусоидальный ток, при этом величина тока достаточно мала, т.е. электромагнитный процесс протекает на начальном участке кривой намагничивания и задачу можно считать линейной [1].

Постановка задачи. Решение данной задачи позволяет рассчитать выходное напряжение на обмотке, размещенной на этом кольце, а также значение векторов напряженности электрического и магнитного поля, плотности тока в стенках кольца и активные потери в стали.

Рассматриваемая система представлена на рис.1.

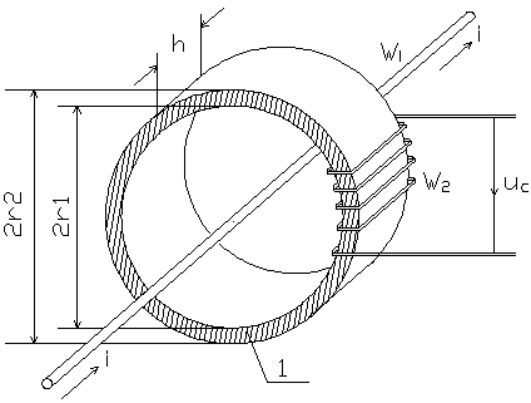


Рис.1. Система «проводник – ферромагнитная проводящая труба»: W_1 – первичная обмотка (шина с синусоидальным током); W_2 – вторичная или выходная обмотка; U_c – выходной сигнал; 1 – железный (стальной) короткий отрезок трубы (или кольцо), выточенный из прутка обыкновенной стали широкого применения

Установим связь между выходным напряжением U_c и током i, при этом будем полагать, что кольцо имеет однородную структуру и линейную зависимость:

$$B = f(H),$$

где B – магнитная индукция; H – напряженность магнитного поля.

Считаем, что магнитная проницаемость кольца μ = *const*, причем $\mu >> \mu_0$ ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная проницаемость вакуума), т.е. полагаем, что перемагничивание материала стенок кольца происходит на начальном участке кривой намагничивания *B = f (H)*.

Сталь обладает электропроводностью γ (для стали $\gamma \approx (0{,}7\text{-}0{,}93)\cdot 10^7$ $(\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$ [2, с.731], для чугуна $\gamma \approx (2 \div 2{,}5)\cdot 10^6$ $(\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$).

Решение проведем в цилиндрической системе координат для случая, когда синусоидально изменяющийся во времени ток направлен по оси *Z* (рис.2).

Уравнение квазистатического электромагнитного поля для проводящей среды имеет, как известно [2. С. 651], вид

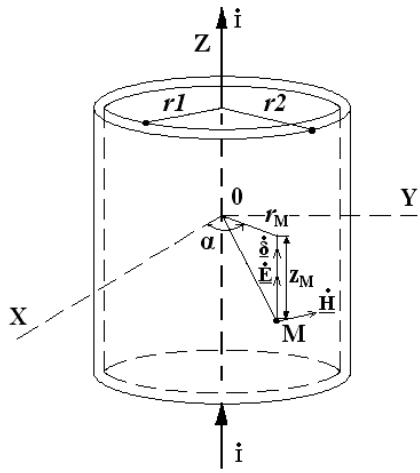


Рис.2. Цилиндрическая система координат к решению задачи

$$rot\ \underline{\dot{H}} = \underline{\dot{\delta}}, \qquad (1)$$

$$rot\ \underline{\dot{\delta}} = -j\,\omega\gamma\mu\,\underline{\dot{H}}, \qquad (2)$$

где $\underline{\dot{\delta}}$ – вектор плотности тока в проводящей среде.

Из (1) и (2) получим

$$rot\ rot\ \underline{\dot{\delta}} = -j\,\omega\gamma\mu\,\underline{\dot{\delta}}. \qquad (3)$$

Преобразуя левую часть, получаем:

$$grad\ div\ \underline{\dot{\delta}} - \nabla^2\,\underline{\dot{\delta}} = -j\,\omega\gamma\mu\,\underline{\dot{\delta}}. \qquad (4)$$

Так как в установившемся режиме $div\ \underline{\dot{\delta}} = 0$, то из (4) получим:

$$\nabla^2\,\underline{\dot{\delta}} = j\,\omega\gamma\mu\,\underline{\dot{\delta}}. \qquad (5)$$

Раскрывая $\nabla^2\,\underline{\dot{\delta}}$ в цилиндрической системе координат и учитывая, что в рассматриваемом случае $\underline{\dot{\delta}}$ от α и *Z* не зависит (т.е. вектор плотности тока в проводящей среде имеет только осевую компоненту), придем к частному случаю уравнения Бесселя:

$$\frac{d^2\,\underline{\dot{\delta}}}{d(qr)^2} + \frac{1}{qr}\cdot\frac{d\,\underline{\dot{\delta}}}{d(qr)} + \underline{\dot{\delta}} = 0, \qquad (6)$$

$$(r_1 \le r \le r_2),$$

где $qr = \sqrt{-j}\ r\sqrt{\omega\gamma\mu}$ ($\omega = 2\pi f$, f – частота синусоидального тока, $q^2 = -j\omega\gamma\mu$), а величина вектора плотности тока зависит от r, ω, γ, μ.

Как известно [2], решение уравнения (6) можно представить следующим образом:

$$\underline{\dot{\delta}} = \dot{M}_1 J_o(qr) + \dot{M}_2 N_o(qr), \qquad (7)$$

где $\dot{M}_1$ и $\dot{M}_2$ – постоянные интегрирования; $J_o(qr)$ – функция Бесселя нулевого порядка первого рода; $N_o(qr)$ – функция Бесселя нулевого порядка второго рода.

Вторым слагаемым в выражении (7) при реальных значениях r, γ, ω, μ можно пренебречь, тогда (7) запишем:

$$\underline{\dot{\delta}} = \dot{M}_1 J_0(qr). \qquad (8)$$

Это допущение проверено путем вычисления значений указанных функций Бесселя при реально возможных аргументах как для ферромагнетиков, так и для проводников.

На основании (2), с учетом раскрытия *rot* $\underline{\dot{\delta}}$ в цилиндрической системе координат и зависимости $\underline{\dot{\delta}}$ только от координаты r, получаем выражение для вектора напряженности магнитного поля в стальном кольце, направленного перпендикулярно вектору $\underline{\dot{\delta}} = \gamma \underline{\dot{E}}$, в следующем виде:

$$\underline{\dot{H}} = -\frac{1}{q^2}\frac{d}{dr}\left[\dot{M}_1 J_0(qr)\right] = \frac{\dot{M}_1}{q} J_1(qr), \qquad (r_1 \le r \le r_2), \qquad (9)$$

где $J_1(qr)$ – функция Бесселя первого рода первого порядка.

То есть вектор $\underline{\dot{H}}$ в рассматриваемом случае имеет только поперечно-круговую компоненту в направлении угла α. На рис.2 указаны направления векторов $\underline{\dot{H}}$, $\underline{\dot{\delta}}$ и $\underline{\dot{E}}$.

Определим постоянную интегрирования $\dot{M}_1$. С этой целью по закону полного тока найдем амплитудное значение $\underline{\dot{H}}_{\partial}$ на внутренней поверхности кольца:

$$\underline{\dot{H}}_m = \frac{\dot{I}_m}{2\pi r_1}, \quad (r = r_1),$$

где $\dot{H}_m$ и $\dot{I}_m$ – комплексные амплитудные значения вектора напряженности магнитного поля и тока.

Приравняем значение $\dot{H}_m$ к правой части (9)

$$(r = r_1), \quad \frac{\dot{I}_m}{2\pi r_1} = \frac{\dot{M}_1}{q} J_1(qr_1),$$

тогда

$$\dot{M}_1 = \frac{q\dot{I}_m}{2\pi r_1 J_1(qr_1)}. \qquad (10)$$

После подстановки (10) в (9) получаем

$$\underline{\dot{H}}_m = \frac{\dot{I}_m}{2\pi r_1 J_1(qr_1)} J_1(qr) \text{ при } (r_1 \le r \le r_2). \quad (11)$$

Учитывая, что $\underline{\dot{\delta}} = \gamma \underline{\dot{E}}$, используя выражения (8) и (10), получаем амплитудное значение вектора напряженности электрического поля в стенках кольца для $r_1 \le r \le r_2$:

$$\underline{\dot{E}}_m = \frac{q}{\gamma} \underline{\dot{H}}_{m(r=r_1)} \cdot \frac{J_0(qr)}{J_1(qr_1)}. \quad (12)$$

Отношение $\frac{q}{\gamma}$ в (12) определяется выражением:

$$\frac{q}{\gamma} = \frac{\sqrt{-j \cdot \omega \cdot \gamma \cdot \mu}}{\gamma} = \sqrt{\frac{-j \cdot \omega \cdot \mu}{\gamma}} = \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu}{\gamma}} \cdot e^{-j45^0}. \quad (13)$$

Отношение $\frac{q}{\gamma}$ принято называть волновым сопротивлением; измеряется в Омах и зависит от свойств среды γ и μ и угловой частоты ω.

Выражение (12) перепишем с учетом (13):

$$\underline{\dot{E}}_m = \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu}{\gamma}} \cdot e^{-j45^0} \cdot \underline{\dot{H}}_{m(r=r_1)} \cdot \frac{J_0(qr)}{J_1(qr_1)}. \quad (14)$$

Отношение функций Бесселя, входящих в (14), при $r \cdot \sqrt{\omega\gamma\mu} > 20$ практически равно $1 e^{j90^0}$. Так, например, для точки на внутренней поверхности кольца ($r = r_1$) при $\omega = 2\pi f = 314$ рад/с, $f = 50$ Гц, $\mu = 1000\,\mu_0$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; $\gamma = 0{,}8 \cdot 10^7$ 1/Ом·м; $r = r_1 = 15 \cdot 10^{-3}$ м;

$qr_1 = r_1 \cdot \sqrt{\omega\gamma\mu} \cdot e^{-j45^0} = 26{,}66 \cdot e^{-j45^0}$; $\frac{J_0(qr_1)}{J_1(qr_1)} = 0{,}014 + j\,1{,}013 \approx 1\, e^{j90^0} \approx j$.

То есть отношение $\frac{J_0(qr_1)}{J_1(qr_1)}$ можно считать мнимым числом с модулем, равным единице.

Для точек, лежащих на внутренней поверхности кольца ($r = r_1$), вектор напряженности электрического поля, направленный параллельно оси трубы, определяется выражением

$$\underline{\dot{E}}_{m(r=r_1)} = \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu}{\gamma}} \cdot e^{-j45^0} \cdot \underline{\dot{H}}_{m(r=r_1)} \cdot e^{j90^0} = \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu}{\gamma}} \cdot \underline{\dot{H}}_{m(r=r_1)} \cdot e^{j45^0}. \quad (15)$$

Если сопоставить выражение (15) для вектора $\underline{\dot{E}}_{m(r=r_1)}$ с выражением для вектора напряженности электрического поля на поверхности, полученного при решении задачи о распространении плоской электромагнитной волны в однородном проводящем ферромагнитном полупространстве, решение которой приведено в [2. С. 655], можно установить, что они

идентичны. Это позволяет сделать вывод о том, что и в данном случае процесс распространения электромагнитного поля (ЭМП) можно рассматривать в виде подающей волны. Отраженная волна будет отсутствовать из-за малой глубины проникновения ЭМП по сравнению с толщиной стенки кольца, что в рассматриваемом случае выполняется. Для отрезка трубы, размеры которой, а также значения γ и μ, приведены выше, глубина проникновения ЭМП во внутреннюю стенку будет равна:

$$\Delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\gamma\mu}} = \sqrt{\frac{2}{2\cdot 3{,}14\cdot 50\cdot 8\cdot 10^{6}\cdot 1000\cdot 4\pi\cdot 10^{-7}}} \approx 0{,}8 \text{ мм},$$

что в несколько раз меньше толщины стенок этого кольца даже на промышленной частоте 50 Гц.

Следует заметить, что выражения (11) и (15) можно использовать для определения вектора Умова-Пойнтинга.

С помощью теоремы Умова-Пойнтинга в комплексной форме получаем возможность определения потока активной и реактивной мощности через боковую поверхность трубы:

$$\int_{S=2\pi r_1 h} [\dot{\underline{E}}\cdot\dot{\underline{H}}]\cdot ds = [\dot{\underline{E}}\cdot\dot{\underline{H}}]\cdot 2\pi r_1 h = P + jQ \approx \frac{hW_1}{2\pi r_1}\cdot I^2\cdot e^{j45^0}\sqrt{\frac{\omega\mu}{\gamma}}\,. \quad (16)$$

для $r = r_1$.

На основании полученного выражения для $\dot{\underline{E}}_m$ можно также рассчитать сигнал, наводимый на сигнальной обмотке с числом витков W_2, следующим образом.

Учитывая, что каждый проводник сигнальной обмотки, расположенный на внутренней поверхности кольца и ориентированный параллельно оси трубы, имеет длину, равную длине цилиндра h, а число этих последовательно соединенных проводников W_2, то

$$\dot{U}_{mc} = \dot{\underline{E}}_{m(r=r_1)} h\cdot W_2 \approx \frac{W_1 I_m h\cdot W_2}{2\pi r_1}\cdot\sqrt{\frac{\omega\mu}{\gamma}}\cdot e^{j45^0}\,. \quad (17)$$

При расчете сигнала по формуле (17) не принимаются во внимание те части длины проводников каждого витка, которые находятся за пределами внутренней поверхности кольца, так как ЭДС сигнала будет наводиться под действием падающей волны ЭМП только на проводниках, которые находятся на внутренней поверхности трубы.

Как видно из (17), сигнал, наводимый на обмотке W_2, опережает ток первичной обмотки почти на 45°, если отношение $J_0(qr_1)/J_1(qr_1)$ численно равно мнимой единице, что в рассматриваемом случае практически выполняется.

Рассмотрим численный пример. Расчет по формуле (17) был проведен при следующих данных испытуемого образца №1:

r_1 = 15,0 мм, h = 40 мм, γ = 0,8 · 10^7 (Ом·м)$^{-1}$, $\mu = 1000\mu_0$

r_2 = 18,0 мм, f = 50 Гц, I_m = 4 А, W_1 = 1, W_2=200.

В результате расчета амплитудного значения сигнала на обмотке W_2 при указанных параметрах было получено U_{mc} = 0,075 В.

Результаты эксперимента. На рис.3 показана схема экспериментального исследования. Испытуемые образцы выточены из одного стального сырого прутка (материал сталь Ст3), отличаются только толщиной стенки: у первого образца наружный диаметр $d_{н1}=2r_1$=36 мм, у второго – $d_{н2}=2r_2$=42 мм; внутренние диаметры – $d_{вн1}$ = $d_{вн2}$ = 30 мм, длины – h = 40 мм.

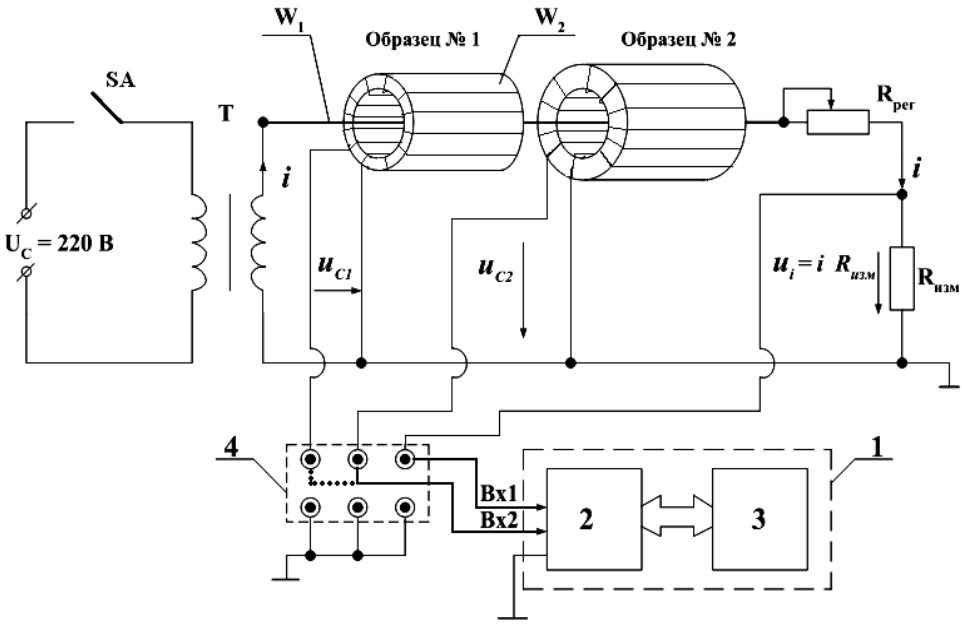
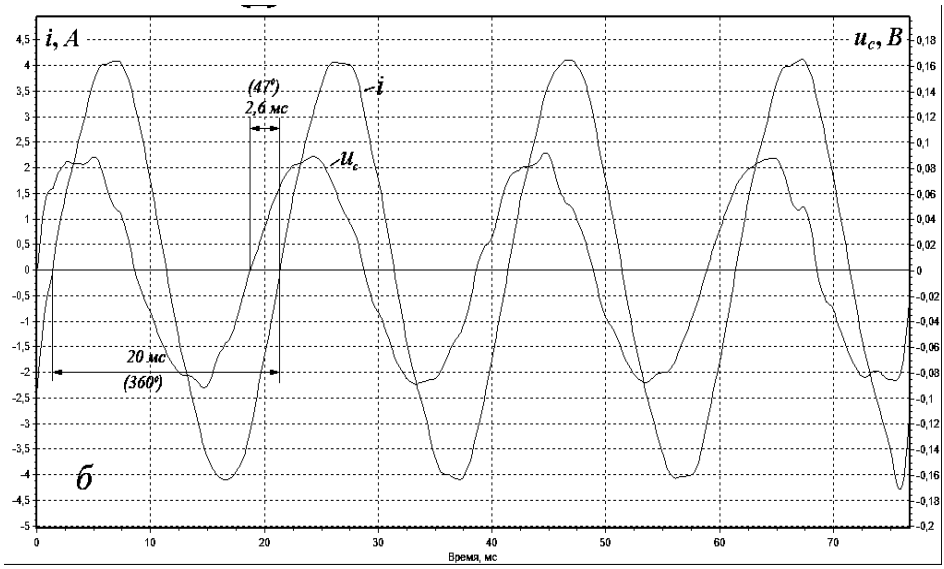
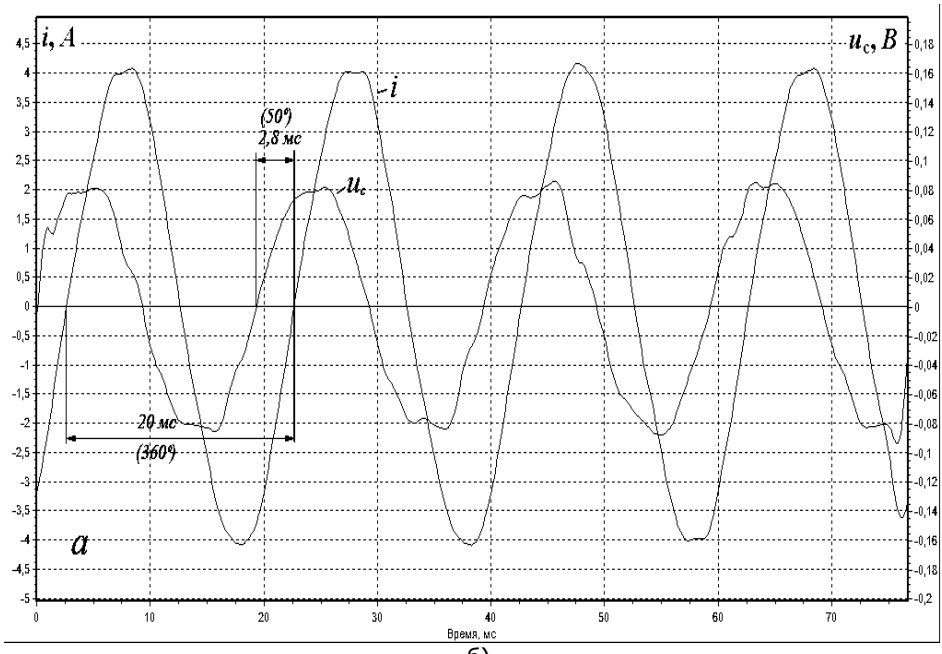


Рис.3. Электрическая схема экспериментальной установки: 1 – аппаратно-программный комплекс (USB-осциллограф); 2 – аналого-цифровой преобразователь; 3 – компьютер; T – понижающий трансформатор; $R_{изм}$=1 Ом – измерительное сопротивление для получения осциллограмм тока; U_{c1}, U_{c2} – ЭДС сигнальных обмоток образцов

Для регистрации и измерения мгновенных значений тока $i\,(t)$ и $u_c(t)$ использован аппаратно-программный комплекс USB-осциллограф. На рис.4,а представлены кривые $i\,(t)$ и $u_c(t)$ для образца № 1 (толщина стенки – 3 мм), на рис.4,б для образца № 2 (толщина стенки – 6 мм).



а)



б)

Рис.4. Осциллограммы токов возбуждения электромагнитного поля *i(t)* и ЭДС сигнальных обмоток u_c: *а* – для образца №1: внутренний диаметр $d_{вн1}$=30 мм; наружный диаметр $d_{н1}$ = 36 мм; длина сердечника h = 40 мм; количество витков w = 200; материал: сталь – Ст3; I_m = 4 А, f = 50 Гц; *б* – для образца №2: внутренний диаметр $d_{вн}$ = 30 мм; наружный диаметр $d_{н2}$ = 42 мм; длина сердечника h = 40 мм; количество витков w = 200; материал: сталь – Ст3; I_m = 4 А, f = 50 Гц

Выводы. 1.Экспериментальные исследования практически совпадают со значением расчетного сигнала, что свидетельствует о том, что выбранное при расчете значение магнитной проницаемости кольца, равное $\mu = 1000\mu_0$, соответствует начальной магнитной проницаемости испытуемого образца.

2. Установлено, что сдвиг по фазе между ЭДС сигнальной обмотки и током, возбуждающим ЭМП во внутренней полости кольца в условиях сильно выраженного поверхностного эффекта, близок к 45°.

3. ЭДС сигнальной обмотки пропорциональна току, возбуждающего ЭМП во внутренней полости кольца, и имеет слабую зависимость от ω, γ, μ в условиях перемагничивания ферромагнетика на начальном участке кривой намагничивания.

Библиографический список

1. Нейман Л.Р. Поверхностный эффект в ферромагнитных телах. / Л.Р. Нейман. – Л.: Госэнергоиздат, 1949.– 190 с.

2. Бессонов Л.А.Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. / Л.А. Бессонов. – М.: Гардарики, 2003. – 317 с.

Материал поступил в редакцию 11.02.09.

A.P.POPOV, M.R.VINOKUROV

CALCULATION AND AN EXPERIMENTAL RESEARCH PARAMETERS OF SAMPLES OF A FERROMAGNETIC MATERIAL

In present clause the decision of a linear problem of calculation of an electromagnetic field in system a conductor on which the sine wave current covered with a ferromagnetic conducting pipe proceeds is resulted. The resulted analytical researches are confirmed with experimental data which results allow with a sufficient degree of accuracy to define the characteristic of ferromagnetic conducting environments.

ПОПОВ Анатолий Петрович (р. 1937), заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» Омского государственного технического университета, профессор (1990), доктор технических наук (1989). Окончил Томский политехнический институт (1962).
Область научных интересов: электротехника, электроника, информатика.
Автор более 140 научных публикации.

ВИНОКУРОВ Михаил Романович (р. 1948), доцент кафедры «Электротехника и техническая кибернетика» Ростовской-на-Дону Академии сельскохозяйственного машиностроения, доцент кафедры «Электротехника и электроника» Донского государственного технического университета (по совместительству), кандидат технических наук (1982). Окончил Омский политехнический институт (1972).
Область научных интересов – теоретическая электротехника.
Автор боле 30 научных публикаций.

popov@omgtu.ru
vmr125@mail.ru

УДК 656:004

Т.Ю. БАЗЮК

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМ ПАССАЖИРСКИМ ТРАНСПОРТОМ

По данным о количестве вошедших и вышедших пассажиров на каждой остановке всего маршрута предложен метод определения пассажирских корреспонденций расчётным способом. Метод основан на гипотезе, теоретическое обоснование которой осуществлено с позиций теории информации. Рассмотрен метод формирования информационного обеспечения задачи по выбору оптимальной системы маршрутов и их количества в зависимости от пассажиропотока, в связи с этим предложен метод решения задачи оптимального распределения подвижного состава по маршрутам.

Ключевые слова: *математическое моделирование, оптимальность распределения, пассажиропоток, матрица корреспонденций.*

Введение. Под математическим моделированием понимается такой способ моделирования, при котором математическая модель того или иного объекта (или системы объектов) представляется в виде некоторых аналитических зависимостей. Такой подход к моделированию позволяет получать результаты в наглядном виде, применять модели одних объектов (например, в сети городского пассажирского транспорта) при создании модели других объектов (органов планирования и управления) [1].

Математическое моделирование позволяет использовать богатый набор оптимизационных методов, доказать корректность применения этих методов. Кроме того, намного упрощается анализ получаемых результатов.

Основным недостатком математического моделирования является ограничение на число факторов, которые можно учесть в модели. При большом числе факторов модель усложняется настолько, что теряется всякая наглядность получаемых результатов.

Постановка задачи. При описании модели мы будем рассматривать задачи, решаемые на стадии текущего планирования и управления транспортными процессами, а именно:

1) выбор оптимальной системы маршрутов;
2) оптимальное распределение подвижного состава по маршрутам;
3) составление оптимального расписания и др.

Основные методы. В данной статье рассматриваются методы формирования информационного обеспечения перечисленных задач, а также предлагается метод решения задачи оптимального распределения подвижного состава по маршрутам.

Для формирования информационного обеспечения необходимо рассмотреть теорию расчетов пассажиропотоков, в том числе методы оценки существующих матриц корреспонденций [3].

Модель восстановления матрицы корреспонденций. Наиболее полно методы формирования и оценки матриц корреспонденций рассмотрены в отчете IIASA [5]. Методы оценки существующих матриц корреспонденций предлагается классифицировать следующим образом:

- методы, основанные на моделировании распределения транспортных потоков (Traffic modeling based approaches);
- статистические методы (Statistical Interference approaches);
- градиентный метод (Gradient based solution techniques).

Автор этого отчета T. Abrahamson считает, что в наиболее общем виде модель обновления матрицы корреспонденций формулируется как

$$\min F(g,v) = \gamma_1 F_1(g,\hat{g}) + \gamma_2 F_2(v,\hat{v}), \quad (1)$$
$$v, g \geq 0, v = assign(g),$$

где g – новая матрица корреспонденций; $\hat{g}$ – матрица корреспонденций, полученная по результатам предшествующих исследований; $v, \hat{v}$ – вектора значений наблюдаемых потоков – новый и прежний; F_1, F_2 – некоторые меры расстояния, например, евклидова норма, или минимум информации (максимум энтропии); $assign(g)$ – распределение потоков v по сети, разделяющее матрицу корреспонденций g_{ij} на потоки, следующие разными маршрутами.

В случаях, когда отсутствует "старая" матрица, используют методы, основанные на моделировании распределения потоков. В этих методах наиболее сложным является установление маршрутов, по которым следуют корреспонденции g_{ij} из зоны *i* в зону *j*. Такая информация представляется в виде матрицы *P*, элементы p_{ij}^a которой являются долей корреспонденций между зоной *i* и зоной *j*, использующих дугу *a*

$$0 \leq p_{ij}^a \leq 1. \quad (2)$$

Соответственно интенсивность движения v_a на данной дуге *a*

$$v_a = \sum_{ij} p_{ij}^a g_{ij}, \quad a \in A. \quad (3)$$

В задачах восстановления матриц корреспонденций выделяют два типа распределения потоков

1. *Пропорциональное распределение.* В этом случае потоки v_a и доли p_{ij}^a считаются независимыми друг от друга. Значения p_{ij}^a могут задаваться до начала моделирования распределения. В том числе допускается применение принципа "все или ничего" (all-or-nothing), при этом предполагается, что корреспонденции используют пути минимальной стоимости.

2. *Равновесное распределение*. Моделирование выполняется в соответствии с принципами Водропа [4], т.е. значения p_{ij}^a зависят от величин потоков на всех дугах $p_{ij}^a = p_{ij}^a(v)$ и не могут определяться заранее.

Отсутствие предварительной информации о маршрутах движения требует представить исходные данные для оценки матрицы корреспонденций так, чтобы каждая пара взаимно корреспондирующих пунктов была связана одним маршрутом. Это можно осуществить разделением матрицы корреспонденций участка дорожной сети на группу матриц корреспонденций, каждая из которых будет представлять "отдельный маршрут". Анало-

гом является модель оценки межостановочных корреспонденций отдельного маршрута.

В модели изолированного маршрута рассматривается одно из двух направлений движения и используются данные о количестве входящих и выходящих пассажиров на остановочных пунктах (ОП); межостановочная матрица корреспонденций *X* является треугольной с нулевой диагональю,

$$\begin{matrix} 0 & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1,n}; \\ & 0 & x_{23} & \dots & x_{2,n}; \\ & & & \dots & \dots \\ & & & 0 & x_{n-1,n}; \\ & & & & 0, \end{matrix} \tag{4}$$

где x_{ij} – количество пассажиров, проехавших между *i* и *j* остановочными пунктами, $x_{ij} \geq 0.$

Сумма элементов *i*-й строки матрицы соответствует количеству пассажиров, вошедших на *i*-ом остановочном пункте, а сумма элементов *j*-го столбца матрицы соответствует количеству пассажиров, вышедших на *j*-ом остановочном пункте

$$a_i = \sum_{j=1}^{n} x_{ij}, \quad b_j = \sum_{i=1}^{j} x_{ij}, \quad i, j = \overline{1,\dots,n}\ , \tag{5}$$

при этом a_i и b_j удовлетворяют условию

$$\sum_{j=1}^{n} a_i = \sum_{i=1}^{j} b_j\ . \tag{6}$$

Для матрицы *X*, максимизирующей взвешенную энтропию и отвечающей условию

$$H(x) = \sum_{ij} x_{ij}\, ln \frac{a_i}{x_{ij}} \to max\ , \tag{7}$$

было получено решение в следующем виде:

$$x_{12} = b_2;$$

$$x_{ij} = \begin{cases} \dfrac{\left(a_i - \sum\limits_{m=i+1}^{j-1} x_{im}\right) b_j}{C_{j-1}}, & если \quad C_{i-1} > 0; \\ 0 \quad , & если \quad C_{i-1} = 0; \end{cases} \tag{8}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} \dfrac{a_{j-1} b_j}{C_{j-1}}, & если \quad C_{i-1} > 0; \\ 0 \quad , & если \quad C_{i-1} = 0; \end{cases} \tag{9}$$

где $C_{j-1} = \sum\limits_{k=1}^{j-2} \left(a_k - \sum\limits_{r=k+1}^{j-1} x_{kr} \right) + a_{j-1}$.

Определенные положения рассмотренной модели оценки межостановочной матрицы корреспонденций изолированного маршрута могут быть

использованы в модели восстановления матрицы корреспонденций транспортных потоков.

Проведение эксперимента. Апробация модели проходила на предприятии МУП ПО «Электроавтотранс» г. Усолье-Сибирское. В городе существует три маршрута: №1 – 11.9 км, №2 – 18,5 км, №3 – 12,8 км. Маршрут №2 в межпиковые часы движется по укороченному маршруту. В будние дни на линию выходят 32 вагона, в выходные – 28. Интервал движения составляет 5 минут в будние дни.

В силу относительной простоты и малой трудоёмкости способ наблюдений сегодня представляется наиболее практичным. Он даёт возможность многократных повторов и быстрой обработки результатов. Обследования этого типа не требуют вхождения в контакт с пассажирами. Практиковались следующие наблюдения:

- подсчёт посадок и высадок пассажиров на остановочных пунктах учётчиками, находящимися в подвижном составе;

- глазомерная оценка водителями, кондукторами или специальными учетчиками наполнения подвижного состава на перегонах (в сечениях).

В условиях города Усолье-Сибирского с учетом указанных оценок и реальных возможностей было решено использовать наблюдение. Наблюдение с целью глазомерной оценки наполнения подвижного состава можно производить внутри подвижного состава или извне. Целесообразно использовать сочетание этих способов. Мы использовали наблюдение внутри подвижного состава. В результате была получена следующая матрица пассажирских корреспонденций (табл. 1).

Таблица 1

Элементы межостановочной матрицы пассажирских перевозок

Номер остановки входа		Номер остановки выхода			
		0	1	2…	n
		b_0	b_1	b_2…	b_n
0	a_0	x_{00}	x_{01}	x_{02}…	
1	a_1		x_{11}	x_{12}…	
2	a_2			x_{22}…	
.	.			…	
.	.			…	
.	.			…	
n	a_n				

В табл.1: a_i – число пассажиров, вошедших в трамвай на *i*-й остановке; b_j – число пассажиров, вышедших из трамвая на *j*-й остановке; x_{ij} – элементы межостановочной матрицы пассажирских корреспонденций, показывающие число пассажиров, проехавших от *i*-й до *j*-й остановок.

Тогда сумма всех элементов в *i*-й строке соответствует числу пассажиров, вошедших в трамвай на *i*-й остановке (a_i), сумма всех элементов в *j*-ом столбце соответствует числу пассажиров, вышедших из трамвая на *j*-ом остановочном пункте (b_j).

Визуальный метод позволяет вначале получить элементы матрицы корреспонденций пассажиров, а затем, суммируя их по строчкам (столбцам), получаем величины вошедших (вышедших) пассажиров на каждом остановочном пункте всего маршрута (табл.2).

Таблица 2

Сводная таблица обследования пассажиропотока на маршруте №1 (прямое направление)

Название остановки входа	Название остановки выхода											
		Трампарк	Загородная	Кристалл	Юбилейный	Гостиница	Ленина	Институт	Магистральная	База оборудования	9-я столовая	Кольцо
Трампарк (кольцо)												
Загородная	36				3	2	4	10	6	5	4	2
Кристалл	22				5		1	8		7	1	
Юбилейный	18					2	3	7	1	3	1	1
Гостиница	12						6	5		1		
Ленина	15							4		8	1	2
Институт	3									2		1
Магистральная	5										1	4
База оборудования	3											3
9-я столовая	1											1
Кольцо												
Общее кол-во	115											

Схожие данные получаются и при обследовании пассажиропотока на обратном направлении.

По данным о количестве вошедших и вышедших пассажиров на каждой остановке всего маршрута был предложен метод определения пассажирских корреспонденций расчётным способом. Метод основан на гипотезе, теоретическое обоснование которой осуществлено с позиций теории информации.

Пусть P_{ij} – вероятность того, что пассажиры, вошедшие в трамвай на *i*-й остановке, выйдут на остановке *j*, т.е.

$$\sum_{j=i+1}^{n} P_{ij} = 1, \qquad P_{ij} \geq 0, i = \overline{1, n-1}, \tag{10}$$

где n – число остановок на маршруте.

Предполагая, что x_{ij} – попарно независимы и $\sum_{j=i+1}^{n} x_{ij} = a_i$, можно определить энтропию распределения вероятностей P_{ij} относительно *i*-й остановки

$$H_i = -a_i \sum_{j=i+1}^{n} P_{ij} \log_2 P_{ij}. \tag{11}$$

Суммарная же энтропия равна

$$H = \sum_{i=1}^{n-1} H_i = -\sum_{i=1}^{n-1} a_i \sum_{j=i+1}^{n} P_{ij} \log_2 P_{ij}; \tag{12}$$

P_{ij} – неизвестны, тогда максимизация суммарной энтропии определяет некоторое множество

$$Q:\left\{P_{ij};\sum_{i=1}^{n-1}a_iP_{ij}=b_j;P_{ij}\ge 0;\quad \sum_{j=i+1}^{n}P_{ij}=1,\ i=\overline{1,n-1},\ j=\overline{1,n}\right\}, \qquad (13)$$

которое задаёт такую структуру искомой матрицы корреспонденций, когда известна лишь информация о количестве вошедших и вышедших пассажиров на каждой остановке всего маршрута.

Так как $x_{ij}= a_iP_{ij}$, то

$$H=-\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}x_{ij}\,log_2\frac{x_{ij}}{a_i}\to max \qquad (14)$$

при ограничениях (5), (6).

Предложенная методика основана на решении системы линейных уравнений вида

$$\sum_{i=1}^{j-1}\frac{a_ig_i}{\sum_{k=i+1}^{n-1}g_k}=b_j,\quad j=\overline{i+1,n}, \qquad (15)$$

где g_i – некоторые неотрицательные числа. При этом элементы матрицы пассажирских корреспонденций определяются следующим образом:

$$x_{ij}=\frac{a_ig_i}{\sum_{k=i}^{n}g_k},\ i=\overline{1,n-1},\ \ j=\overline{i+1,n}. \qquad (16)$$

С учетом этих обоснований построены следующие рекуррентные соотношения:

$$x_{ij}=\begin{cases}\dfrac{\left(a_i-\sum_{m=i+1}^{j-1}x_{im}\right)b_j}{C_j}, & если\quad C_j>0;\\ 0\qquad\qquad\quad , & если\quad C_j=0;\end{cases} \qquad (17)$$

$$x_{i,i+1}=\begin{cases}\dfrac{a_ib_{i+1}}{C_{i+1}}, & если\quad C_{i+1}>0;\\ 0\qquad , & если\quad C_{i+1}=0;\end{cases} \qquad (18)$$

где $C_i=\sum_{k<i-1}\left(a_k-\sum_{m=k+1}^{j-1}x_{km}\right)+a_{i-1}$.

Если предположить, что выход на j-й остановке любого пассажира из перевозочной единицы из всех подъехавших (Q_j) есть независимое событие, вероятность которого равна $\frac{1}{Q_j}$, то для определения пассажирских корреспонденций расчётным способом можно предложить следующие формулы:

а) условное математическое ожидание случайных величин λ_{ij} при выполнении условия $a_{ij} = a_i - \sum_{m=i+1}^{j-1} x_{im}$ - усреднение по вероятности:

$$x_{ij} = M(\lambda_{ij}) = \sum_k \frac{k C_{a_{ij}}^k C_{Q_{j-a_{ij}}}^{b_j - k}}{C_{Q_j}^{b_j}}, \quad (19)$$

где $\lambda_{ij} = \begin{cases} b_j - k, \text{ если } a_{ij} \geq b_j; \\ a_{ij} - k, \text{ если } a_{ij} \leq b_j, \end{cases} \quad k = \begin{cases} \dfrac{b_j - \min\left[b_j, (Q_j - a_{ij})\right]}{b_j}, \text{ если } a_{ij} \geq b_j; \\ \dfrac{a_{ij} - \min\left[a_{ij}, (Q_j - b_j)\right]k}{a_{ij}}, \text{ если } a_{ij} \leq b_j; \end{cases}$

b) среднее арифметическое значение числа пассажиров, имеющих возможность проехать с некоторой вероятностью между двумя любыми остановками

$$x_{ij} = \frac{k_1 + k_2}{2}, \quad (20)$$

где $\begin{array}{l} k_1 = b_j - \min\left[b_j, (Q_j - a_{ij})\right], \; k_2 = b_j, \text{ если } a_{ij} \geq b_j; \\ k_1 = a_{ij} - \min\left[a_{ij}, (Q_j - b_j)\right], \; k_2 = a_{ij}, \text{ если } a_{ij} \leq b_j; \end{array}$

c) те значения *k*, вероятность которых наибольшая:

$$x_{ij} = \max_k \frac{C_{a_{ij}}^k C_{Q_{j-a_{ij}}}^{b_j - k}}{C_{Q_j}^{b_j}}, \quad (21)$$

где *k* определяется так же, как в пункте а).

Полученные формулы (14) – (21) позволяют определить величины x_{ij}. По этим данным проводились экспериментальные расчёты, в результате которых выяснилось, что отклонение численных значений колеблется в достаточных пределах, удовлетворительных для большинства практических расчётов.

Программное обеспечение. По результатам эксперимента создана программа, которая позволяет рассчитать потребное количество трамваев, их марку и вместимость для заданного пассажиропотока как на маршруте в целом (максимальное количество транспорта), так и по часам суток (потребное количество транспорта на каждый час). Исходными данными для расчета являются:

а) максимальный объем перевозки пассажиров в час «пик», пас/ч;

б) суточный объем перевозки пассажиров, пас;

в) количество часов работы трамвая на данном маршруте за сутки, ч;

г) время оборота, ч.

Основным критерием при выборе типа транспортного средства для перевозки пассажиров на заданном маршруте является целесообразный интервал движения, который определяется по результатам анализа пасса-

жиропотока. Кроме интервала движения, учитывается номинальная вместимость подвижного состава, которая соответствует числу мест для сидящих пассажиров и числу мест для стоящих из расчета 5 человек на 1м^2 свободной площади салона. При выборе типа трамвая (по рациональному использованию пассажировместимости) задается три значения интервала, соответствующие рангу маршрута (табл.3), прибавляется одна минута и определяется вместимость.

Таблица 3

Ранжирование маршрута

Ранг маршрута	Интервал движения, мин.	Пассажиропоток, пас/ч.
I	До 2	Свыше 3000
II	3…5	1500…2500
III	6…10	600…1000
IV	11…20	300…500
V	21…80	До 300

Затем отнимается одна минута и расчет повторяется. Расчетная пассажировместимость сравнивается с общей вместимостью (см.табл.3), и выбирается транспорт, вместимость которого будет использоваться более рационально. А, следовательно, будет наблюдаться снижение себестоимости перевозок.

В результате обработки данных о маршруте на экран выводятся (рис.1): марка транспорта; вместимость, пас; максимальное количество транспорта для часа «пик».

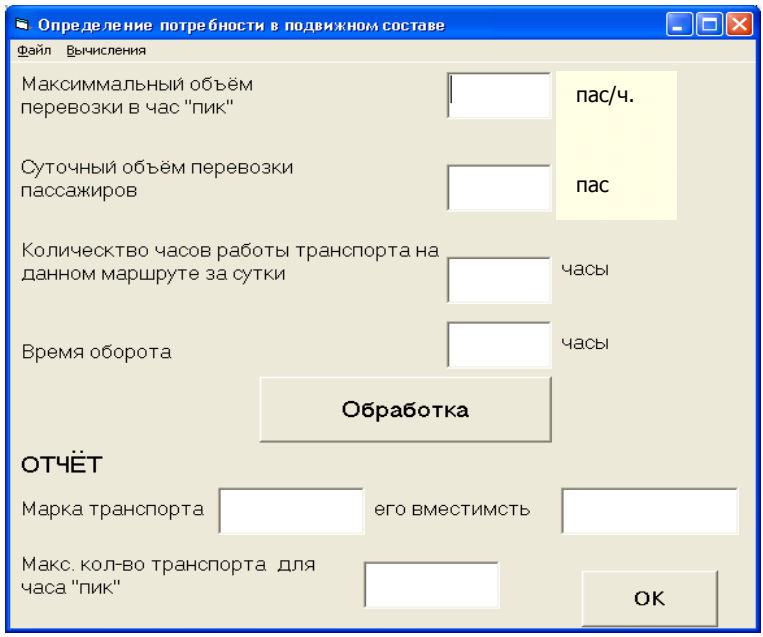


Рис.1. Определение потребности в подвижном составе

При работе с программным обеспечением в справочные таблицы вводятся все марки транспорта, в частности значения b_j, которые существуют на автотранспортном предприятии (рис.2), а также таблицы коэффициентов a_{ij} – суммарное количество пассажиров, перевозимое всеми транспортными средствами на каждом маршруте для каждого временного интервала. Кроме параметров a_{ij}, для каждого временного интервала указываются значения q_i, s_i (рис.3). Значения s_i – это оценки стандартов величин q_i (точности их определения), они требуют для оценки качества решения - точностей определения параметров модели коэффициентов корреляции между ними. Коэффициенты характеризуют взаимовлияние параметров - возможность увеличения одного за счет уменьшения другого.

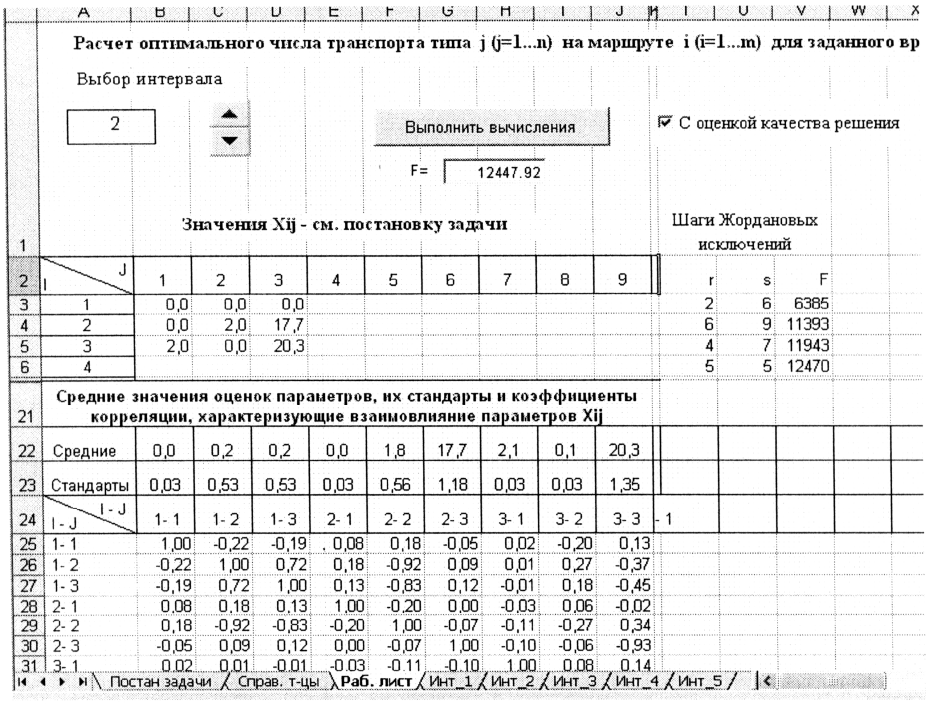
	A	B	C	D
1	**Интервалы времени**			
2	Код интервала	Промежутки времени, ч		
3	1	6-7, 21-24		
4	2	7-10, 16-19		
5	3	10-16, 18-21		
6				
11	**Транспортные средства (1,…, j,…, n)**			
12	Код тр. ср-ва	Наименование	Максимальная вместимость	Кол-во (b_j)
13	1	Трамвай 71-619 КТ	184	2
14	2	Трамвай 71-605 РМ2	176	2
15	3	Трамвай 71-605	211	38
16				
17				
18				
19				
31	**Маршруты (1,…, i,…, m)**			
32	Код маршрута	Название		
33	1	9 столовая - Трампарк		
34	2	9 столовая - РМ3 - Привокзальная		
35	3	9 столовая - Привокзальная		
36	4	Трампарк - Привокзальный		
37				

Рис.2. Лист «Справочные таблицы»

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Коэффициенты a_{ij} для временного интервала, максимальные количества qi перевозимых пассажиров на маршрутах и соответствующие стандарты si									Начиная со строки 21 - Статистическое моделирование для оценки качества решения			
2	i \ j	1	2	3		qi	si						
3	1	250	244	265		8000	600						
4	2	287	280	308		6000	450						
5	3	275	220	290		7000	520						
6													

Рис.3. Исходные параметры модели a_{ij}, q_i, s_i (i =1,2,3, j=1,2,3)

При работе с программой надо перейти на рабочий лист (рис.4), выбрать временной интервал и выполнить вычисления, нажав кнопку «Выполнить вычисления».



Расчет оптимального числа транспорта типа j (j=1...n) на маршруте i (i=1...m) для заданного вр

Выбор интервала: 2

Выполнить вычисления

С оценкой качества решения

F= 12447.92

Значения Xij - см. постановку задачи

I \ J	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,0	0,0	0,0						
2	0,0	2,0	17,7						
3	2,0	0,0	20,3						
4									

Шаги Жордановых исключений

r	s	F
2	6	6385
6	9	11393
4	7	11943
5	5	12470

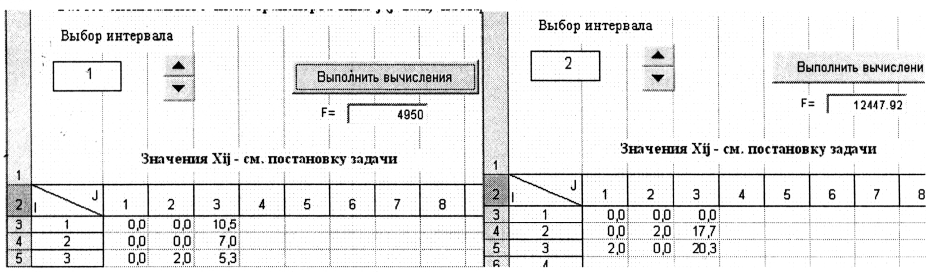
Средние значения оценок параметров, их стандарты и коэффициенты корреляции, характеризующие взаимовлияние параметров Xij

	1- 1	1- 2	1- 3	2- 1	2- 2	2- 3	3- 1	3- 2	3- 3
Средние	0,0	0,2	0,2	0,0	1,8	17,7	2,1	0,1	20,3
Стандарты	0,03	0,53	0,53	0,03	0,56	1,18	0,03	0,03	1,35
1- 1	1,00	-0,22	-0,19	0,08	0,18	-0,05	0,02	-0,20	0,13
1- 2	-0,22	1,00	0,72	0,18	-0,92	0,09	0,01	0,27	-0,37
1- 3	-0,19	0,72	1,00	0,13	-0,83	0,12	-0,01	0,18	-0,45
2- 1	0,08	0,18	0,13	1,00	-0,20	0,00	-0,03	0,06	-0,02
2- 2	0,18	-0,92	-0,83	-0,20	1,00	-0,07	-0,11	-0,27	0,34
2- 3	-0,05	0,09	0,12	0,00	-0,07	1,00	-0,10	-0,06	-0,93
3- 1	0,02	0,01	-0,01	-0,03	-0,11	-0,10	1,00	0,08	0,14

Постан задачи | Справ. т-цы | Раб. лист | Инт_1 | Инт_2 | Инт_3 | Инт_4 | Инт_5

Рис.4. Рабочий лист

Программа сама подберет, учитывая заданные параметры, необходимое количество транспортных единиц на каждый маршрут. Сравнивая два интервала: 1-й и 2-й (см.рис.2), получаем сравнительные таблицы расчетов (рис.5).



Выбор интервала: 1

Выполнить вычисления

F= 4950

Значения Xij - см. постановку задачи

I \ J	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,0	0,0	10,5					
2	0,0	0,0	7,0					
3	0,0	2,0	5,3					

Выбор интервала: 2

Выполнить вычислени

F= 12447.92

Значения Xij - см. постановку задачи

I \ J	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,0	0,0	0,0					
2	0,0	2,0	17,7					
3	2,0	0,0	20,3					

Рис.5. Сравнительные таблицы расчетов на разных временных интервалах

Из рис.5 видим, что в часы пик количество транспортных средств значительно увеличивается, а в первый временной интервал можно не выпускать на линию трамвай марки 71-619 КТ; это хорошо видно и на диаграмме, которая построена по результатам исследований (рис.6).

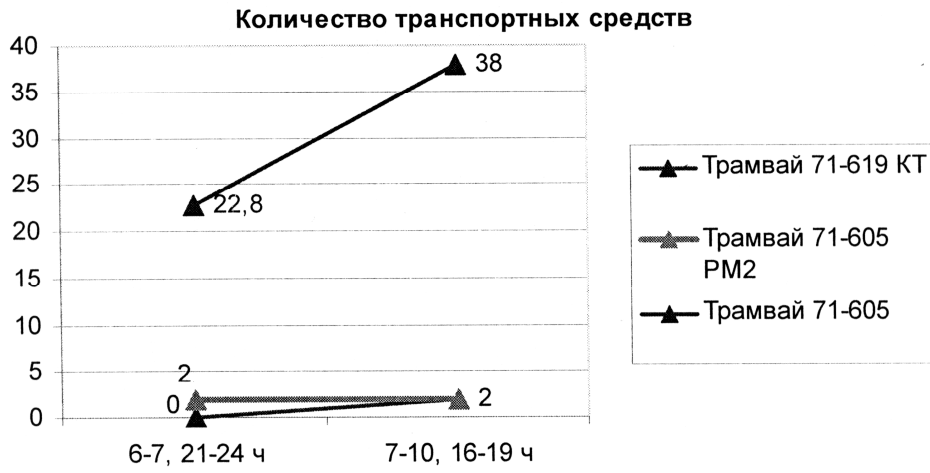


Рис.6. Результаты исследований

Выводы. С помощью разработанной программы определения потребности подвижного состава можно судить об оптимальности парка подвижного состава города и возможности прогнозирования требуемого парка подвижного состава города с точки зрения технико-эксплуатационных показателей, о выборе оптимальной системы маршрутов, оптимального распределения подвижного состава по маршрутам и о составлении оптимального расписания.

Библиографический список

1. Антошвили М.Е. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ. / М.Е. Антошвили, Г.А. Варелопуло, М.В. Хрущев. – М.: Транспорт, 1974. – 104 с.

2. Артынов А.П. Автоматизация управления транспортными системами. / А.П. Артынов, В.Н. Ембулаев, А.В. Пупышев, В.В. Скалецкий. – М.: Наука, 1984. – 272 с.

3. Артынов А.П. Автоматизация процессов планирования и управления транспортными системами. / А.П. Артынов, В.В. Скалецкий. – М.: Наука, 1981. – 280 с.

4. Михайлов А.Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов. / А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с.

5. http://www.iiasa.ac.at/docs/IIASA_Publications.html

Материал поступил в редакцию 24.04.09.

T.U. BAZUK

MATHEMATICAL MODELING OF PROCESSES OF MANAGEMENT OF URBAN PASSENGER TRANSPORT

On the data on quantity of the including and left passengers at each stop of all route the method of definition of the passenger correspondence by a settlement way and on the basis of the received researches the software is offered.

БАЗЮК Татьяна Юрьевна, ст. преподаватель кафедры «Информатика» кибернетического факультета Иркутского государственного технического университета. Окончила Иркутский государственный педагогический университет, математический факультет (1998).
Сфера научных интересов: оптимизация процессов, языки программирования, базы данных.
Автор 5 научных статей и 2 учебных пособий.

Bazuk@rambler.ru

УДК 681.3.001

Ю.О. ЧЕРНЫШЕВ, Н.Н. ВЕНЦОВ

МИНИМИЗАЦИЯ ЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ МЕТОДОМ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ АДАПТАЦИИ

В статье предложен подход к минимизации булевых функций, основанный на использовании автоматов адаптации. В качестве основы используется известный метод минимизации булевых функций, базирующийся на разбиении конституент единиц СДНФ булевых функций на два множества и соединения соседних конституент. Предлагаемый автомат адаптации в случае попадания в локальный оптимум позволяет осуществлять возврат к предыдущему решению и эффективно выходить из локальных оптимумов.

Ключевые слова: *минимизация булевых функций, автоматы адаптации, САПР СБИС.*

Введение. Базовым направлением научно-технической проблематики является построение фундаментальной теории интеллектуальных САПР. Разработка математического аппарата, описывающего весь процесс автоматизированного проектирования СБИС, требует формализации всех задач проектирования, решаемых САПР. Наименее формализованным является этап логического проектирования СБИС [1]. На данном этапе осуществляется разработка логической схемы цифрового узла или устройства в заданном функциональном базисе. Оптимизация на уровне логической схемы – это минимизация логической (булевой) функции, описывающей эту схему [1,2]. Для оценки степени минимализма или сложности булевой функции обычно используется критерий минимума букв в ее аналитическом представлении [2,3]. В настоящее время известны алгоритмы, способные минимизировать логические функции, содержащие порядка нескольких тысяч входных переменных [4].

Недостатки булевых структур как математического аппарата логического синтеза состоят в следующем [1]:

- процедуры минимизации носят переборный характер;
- процедуры синтеза с увеличением числа аргументов становятся громоздкими, плохо обозримыми уже при числе переменных n = 5,6.

Постановка задачи. Необходимо разработать алгоритмы, позволяющие ускорять процесс поиска. Предложенный в [2] метод минимизации булевых функций основан на разбиении конституент единиц СДНФ булевых функций на два множества и соединения соседних конституент. При таком подходе задача минимизации булевой функции сведена к итеративному решению задачи о покрытии графа с последующим понижением ранга конституент единиц. Например, конъюнкции $x_1 x_2 x_3$ и $x_1 x_2 \overline{x}_3$ покрываются конъюнкцией меньшего ранга $x_1 x_2$, т.е. происходит склеивание конъюнкций [5]. Применение методов альтернативной адаптации [5,6] позволило авторам улучшить данный алгоритм.

Предлагаемый алгоритм минимизации получает на входе исходную функцию в виде совершенной дизъюнктивной нормальной формы (СДНФ). Для упрощения программной реализации алгоритма отрицание переменной

обозначено вертикальной чертой перед переменной, а не над ней, например, записи $|x1x2|x3$ соответствует запись $\bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3$.

Пусть введена булева функция вида:

$f(x1,x2,x3,x4) =$ |x1x2x3|x4Vx1x2|x3|x4Vx1x2x3|x4V|x1|x2x3|x4V|x1|x2x3x4V|x1x2x3|x4 .

На первом этапе исходная СДНФ разбивается на два множества: *A* – содержащее элементарные конъюнкции с нечетным количеством переменных в инверсной форме и *B* – содержащее элементарные конъюнкции с четным количеством переменных в инверсной форме. Для рассматриваемого примера данные множества будут содержать элементы:

$$A_1 = \{x1x2x3 \mid x4, \mid x1 \mid x2x3 \mid x4\};$$

$$B_1 = \{\mid x1x2x3 \mid x4, x1x2 \mid x3 \mid x4, \mid x1 \mid x2x3x4, x1 \mid x2x3 \mid x4\}.$$

Соответственно число конституент единиц на *i*-й итерации (L_i) определим как сумму мощностей множеств A_i и B_i, т.е. $L_i = |A_i| + |B_i|$. В данном случае возможно реализовать операцию склеивания несколькими способами, при этом априорно оценить перспективность каждого из них на данном этапе невозможно. Из всех возможных способов склеивания рассмотрим два, которые представлены на рис.1 штриховыми (первый способ) и непрерывными (второй способ) линиями, соединяющими вершины двудольного графа, описывающего рассматриваемую булеву функцию.

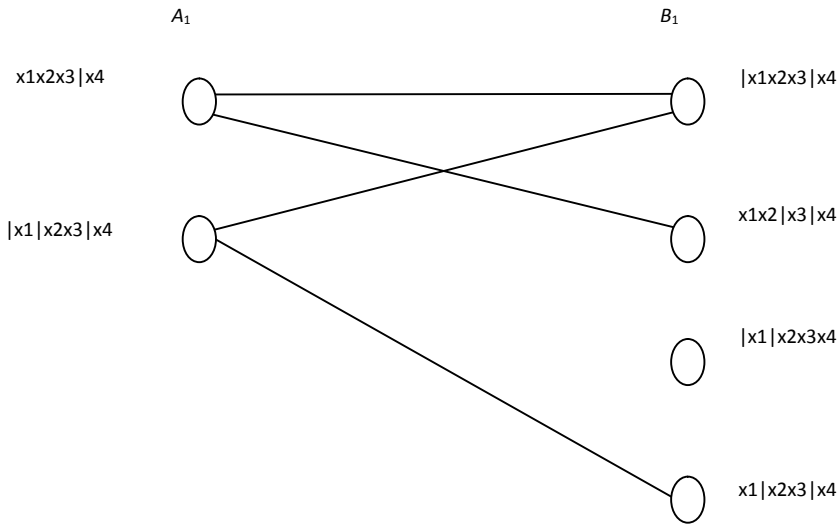


Рис.1. Два варианта склеивания конституент

В результате реализации первого варианта соединения будут получены две конституенты, покрываемые конъюнкцией $x3 \mid x4$, т.е. подлежащие склеиванию (рис.2,а), а при реализации второго варианта получены конституенты, склеивание которых невозможно (рис.2,б).

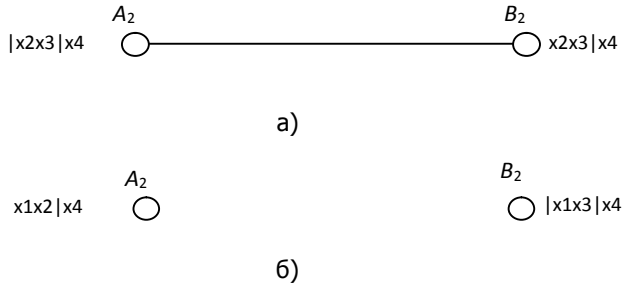


Рис.2. Результаты реализации вариантов склеивания исходной булевой функции

Из рис.1 и 2 следует, что более перспективной является первая альтернатива. Таким образом, если на первом шаге был выбран второй способ склеивания, то после его реализации целесообразно осуществить переход к предыдущему состоянию с целью поиска более оптимального решения. Алгоритмическим аппаратом для программной реализации подобных механизмов поиска являются автоматы адаптации [3]. Большинство автоматов адаптации поддерживают некоторое количество альтернатив, как правило, от 2 до 5 [6,7]. Пример граф-схемы автомата адаптации (АА), поддерживающего две альтернативы, приведен на рис.3. Каждой альтернативе соответствуют группы состояний S_{11}- S_{1n} или S_{21}- S_{2m}, называемых цепочками состояний. Под действием сигналов поощрения "+" и наказания "-" АА переходит в новое состояние.

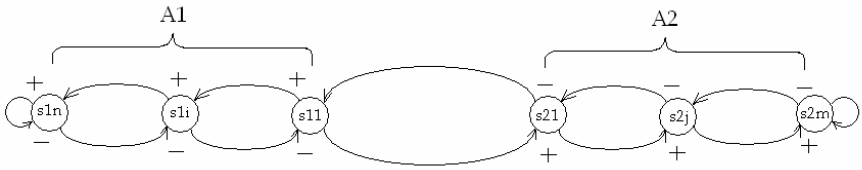


Рис.3. Пример граф-схемы автомата адаптации

Для решения поставленной задачи предлагается использовать вероятностный автомат адаптации (рис.4), в котором альтернатива A_1 - заключается в понижении ранга минимизируемой функции, A_2 - в возврате

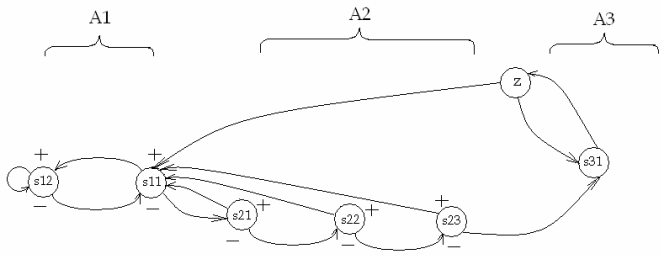


Рис.4. Граф-схема предлагаемого автомата адаптации

к представлению минимизируемой функции, используемому на предыдущей итерации, с последующим понижением ранга минимизируемой функции, A_3 - в возврате к представлению минимизируемой функции, используемому на предыдущей итерации (если это возможно).

В начале работы АА находится в состоянии S_{11}, соответствующем альтернативе A_1, после реализации данной альтернативы, в зависимости от сформированного управляющего сигнала, АА переходит в новое состояние.

Среда, в которой функционирует АА, вырабатывает два класса сигналов:

1) поощрения, формируемые при выполнении условия

$$\left(\frac{L_{i+1}}{L_i} \geq k\right) or\left(L_{i+1} = \min\left(|A_i|, |B_i|\right)\right);$$

2) наказания, формируемые при не выполнении условия

$$\left(\frac{L_{i+1}}{L_i} \geq k\right) or\left(L_{i+1} = \min\left(|A_i|, |B_i|\right)\right).$$

В случае реализации альтернативы A_3 (см.рис.4) автомат сразу же переходит в состояние Z. Вероятность перехода из состояния Z в состояние S_{11} обозначим как P_{11}, а вероятность перехода в состояние S_{31} определим как $P_{31} = 1 - P_{11}$. Модифицированный алгоритм на тестовых наборах данных позволяет получать результаты на 2…5 % лучше, чем решения, полученные при помощи исходного алгоритма, с вероятностью 0,05…0,10.

Библиографический список

1. Чернышев Ю.О. Оптимизация вычислительных структур целочисленными методами теории потоков в сетях: дис. … докт. техн. наук. / Ю.О. Чернышев. – Таганрог, 1979. – 429 с.

2. Чернов Н.И. Разработка основ теории логического синтеза компонентов СБИС в линейных пространствах: дис. … докт. техн. наук. / Н.И. Чернов. – Таганрог, 2003.– 335 с.

3. Курейчик В.М. Адаптация на основе самообучения. / В.М. Курейчик, Б.К. Лебедев, О.Б. Лебедев, Ю.О. Чернышев. – Ростов н/Д: РГАСХМ ГОУ, 2004. – 146 с.

4. Petr Fiska, Jan Hlavicka. Boom — a heuristic boolean minimizer. Computing and Informatics, Vol. 22, 2003, 1001-1003, V, 2003-Jun-25.

5. Поспелов Д.А. Логические методы анализа и синтеза схем; изд. 3-е, перераб. и доп. / Д.А. Поспелов. – М.: Энергия, 1974. – 368 с.

6. Лебедев Б.К. Адаптация в САПР: монография. / Б.К. Лебедев. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999. – 160 с.

7. Борисова Л.В. К вопросу построения нечеткой экспертной системы продукционного типа для технологической регулировки машин. / Л.В. Борисова, В.П. Димитров. // Вестник ДГТУ. – 2008. – Т.8. – № 3(38). – С 145-156.

Материал поступил в редакцию 21.05.09.

Y.O. CHERNYSHEV, N.N. VENCOV

MINIMIZATION LOGICAL FUNCTION BY METHOD TO ALTERNATIVE ADAPTATION

Approach is offered In article to minimization boolean function, founded on use automaton to adaptation. As bases is used known method to minimization boolean function, founded on partition implicant units made disjunctive normal form boolean function on two ensembles and join nearby implicant. The Proposed automaton to adaptation, in the event of hit in local optimum allows to realize return to previous decision. Given characteristic allows effectively to come out of local optimum.

ЧЕРНЫШЕВ Юрий Олегович (р. 1937), заведующий кафедрой «Прикладная математика и вычислительная техника» ГОУ ВПО РГАСХМ, доктор технических наук (1984), профессор (1985). Окончил Таганрогский радиотехнический институт (1959).
Области научных интересов: нетрадиционные методы оптимизации, эволюционное моделирование, средства обеспечения САПР.
Автор более 300 научных работ.

ВЕНЦОВ Николай Николаевич (р.1981), доцент кафедры «Прикладная математика и вычислительная техника» ГОУ ВПО РГАСХМ, кандидат технических наук (2007). Окончил Ростовскую-на-Дону государственную академию сельскохозяйственного машиностроения (2003).
Научные интересы: адаптивное поведение, логическое проектирование, эволюционные алгоритмы.
Автор 17 научных работ.

pmivt@rgasm.ru
vencov@list.ru

УДК 51:621.891

К.С. АХВЕРДИЕВ, Е.О. ЛАГУНОВА, М.А. МУКУТАДЗЕ

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ РАДИАЛЬНОГО ПОДШИПНИКА ПРИ НАЛИЧИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ С УЧЕТОМ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ И ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Рассмотрено движение электропроводящей смазки в зазоре радиального подшипника при наличии электромагнитного поля с учетом зависимости вязкости и электропроводимости от температуры. Дана оценка влияния параметров, характеризующих магнитную индукцию и напряженность электрического поля, на основные рабочие характеристики подшипника.

***Ключевые слова**: радиальный подшипник, электромагнитное поле, несущая способность.*

Введение. Задача современной инженерной практики приводит к повышению требований, предъявляемых к условиям эксплуатации и эффективности использования различных узлов современного промышленного и транспортного оборудования, в том числе подшипников скольжения. Одним из важных конструктивных элементов подшипников жидкостного трения является смазочная среда. В последнее время в качестве смазочной среды используются жидкости, обладающие электропроводящими свойствами. Поэтому определение рациональных значений безразмерных критериев, присущих электропроводящим смазкам, обеспечивающих повышенную несущую способность при низком трении, является, на наш взгляд, весьма актуальным.

Постановка задачи. Рассмотрим движение электропроводящей смазки в зазоре радиального подшипника при наличии электромагнитного поля с учетом зависимости вязкости и электропроводимости от температуры (рис.1). Предполагается, что подшипник неподвижен, шип вращается с постоянной угловой скоростью ω.

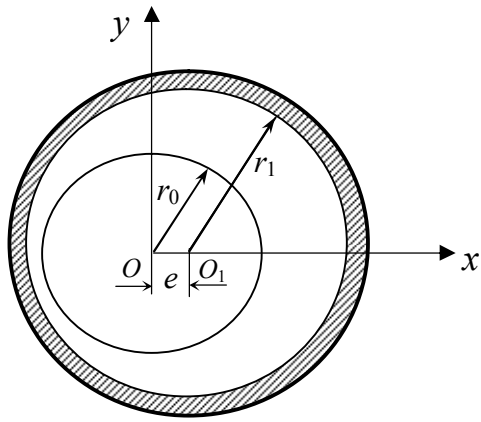


Рис.1. Схематическое изображение движения в зазоре радиального подшипника

Будем исходить из уравнений «тонкого слоя» для вязкой несжимаемой жидкости при наличии электромагнитного поля. Эти уравнения при пренебрежении эффектом Холла и в случае малых значений магнитного числа Рейнольдса в рассматриваемом случае имеют следующий вид:

$$\frac{\partial p'}{\partial r'}=0,\quad \mu'\frac{\partial^2 \mathrm{v}'_\theta}{\partial r'^2}=\frac{1}{r'}\frac{\partial p'}{\partial \theta}-\sigma' B'\left(E'-\mathrm{v}'_\theta B'\right);$$

$$\frac{\partial \mathrm{v}'_{\mathrm{r}'}}{\partial \mathrm{r}'}+\frac{\mathrm{v}'_{\mathrm{r}'}}{\mathrm{r}'}+\frac{1}{\mathrm{r}'}\frac{\partial \mathrm{v}'_\theta}{\partial \theta}=0;\ \ \mu'=\mu_0 e^{-\alpha(T'-T_0)};\ \sigma'=\sigma_0 e^{-\alpha(T'-T_0)}. \qquad (1)$$

Здесь $\mathrm{v}'_{\mathrm{r}'}$, v'_θ - компоненты вектора скорости; p' - гидродинамическое давление в смазочном слое; $\overline{E}=\{0,0,E'\}$ - вектор напряженности электрического поля; $\overline{B}=\{B',0,0\}$ - магнитная индукция; μ' - динамический коэффициент вязкости; σ' - электропроводимость; T - температура; r, θ - полярные координаты; μ_0 - характерная вязкость; σ_0 - характерная электропроводимость смазки; α - экспериментальная постоянная, входящая в зависимость вязкости и электропроводимости от температуры.

Предполагается, что величины *E, B* и скорость течения жидкости таковы, что можно пренебречь влиянием потока жидкости на приложенные электрическое и магнитное поля (это предположение подразумевает малость магнитного числа Рейнольдса). При этом функции $E'(r,\theta)$ и $B'(r,\theta)$ считаем заданными, удовлетворяющие уравнениям Максвелла [1]

$$divB'=0,\quad rotE'=0\ . \qquad (2)$$

Уравнения (2) удовлетворяются при

$$E'=const,\quad B'=\frac{\tilde{\phi}(\theta)}{r'}, \qquad (3)$$

здесь $\tilde{\phi}(\theta)$ - заданная функция.

В полярной системе координат с полюсом в центре шипа уравнения контура шипа и подшипника приближенно можно записать в виде

$$r'=r_0,\quad r'=r_1+e\cos\theta\ , \qquad (4)$$

где r_0 – радиус шипа; r_1 – радиус подшипника; e – эксцентриситет.

С учетом (2) уравнения движения (1) можно записать в виде:

$$\frac{\partial p'}{\partial r'}=0;\quad \mu\frac{\partial^2 \mathrm{v}'_\theta}{\partial r'^2}=\frac{1}{r'}\frac{\partial p'}{\partial \theta}-\frac{\sigma B'}{r'}\left(E'-\mathrm{v}'_\theta\frac{B'}{r'}\right);$$

$$\frac{\partial \mathrm{v}'_{\mathrm{r}'}}{\partial \mathrm{r}'}+\frac{\mathrm{v}'_{\mathrm{r}'}}{\mathrm{r}'}+\frac{1}{\mathrm{r}'}\frac{\partial \mathrm{v}'_\theta}{\partial \theta}=0\cdot \qquad (5)$$

Система уравнений (5) решается при следующих граничных условиях:

$$\mathrm{v}'_{\mathrm{r}'}=0,\quad \mathrm{v}'_\theta=0 \qquad \text{при } r'=r_1+e\cos\theta;$$

$$\mathrm{v}'_{\mathrm{r}'}=0,\quad \mathrm{v}'_\theta=\omega r_0 \qquad \text{при } r=r_0;$$

$$p(0)=p(2\pi). \qquad (6)$$

Перейдем к безразмерным переменным по формулам:

$$\mathrm{v}'_{r'} = \omega\delta u, \quad \mathrm{v}'_{\theta} = \omega r_0 \mathrm{v}, \; r' = r_0 + \delta r \,, \; \delta = r_1 - r_0 \;\; p(0) = p(2\pi)$$

$$p^* = \frac{\mu\omega r_0^2}{\delta^2}, \quad \tilde{\phi} = \phi^* \phi$$

$$\mu' = \mu_0 \mu \,, \; \sigma' = \sigma_0 \sigma \,, \; T' = T_0 T \,. \tag{7}$$

Подставляя (7) в (5) и (6), будем иметь с точностью до членов $O\left(\frac{\delta A}{r_0}\right)$, $O\left(\frac{\delta N}{r_0}\right)$:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = 0, \quad \frac{\partial^2 \mathrm{v}}{\partial r^2} = \frac{dp}{d\theta} - A\phi + N\mathrm{v}\phi^2 \,; \;\; \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \theta} = 0 \,. \tag{8}$$

где $A = \dfrac{\sigma_0 \delta^2 E' \phi^*}{r_0^2 \mu_0 \omega}$, $N = \dfrac{\sigma_0 \delta^2 \phi^{*2}}{r_0^2 \mu_0}$ - число Гартмана.

$$u = 0, \quad \mathrm{v} = 0 \qquad \text{при } 1 + \eta\cos\theta = h(\theta);$$

$$u = 0, \quad \mathrm{v} = 1 \qquad \text{при } r = 0; \quad \eta = \frac{e}{\delta} \,. \tag{9}$$

Полагая, что *A<1*, *N<1*, точное автомодельное решение задачи (8)-(5) будем искать в виде [2]:

$$u = -\frac{\partial \psi}{\partial \theta} + U(r,\theta); \quad \mathrm{v} = \frac{\partial \psi}{\partial r} + V(r,\theta); \quad \tilde{u}' + \varsigma \tilde{\mathrm{v}}' = 0;$$

$$\phi = \frac{\phi_0}{1 + \eta\cos\theta}; \quad \frac{1}{\mu}\frac{dp}{d\theta} = \frac{\tilde{C}_1}{h^2} + \frac{\tilde{C}_2}{h^3}; \quad \psi = \tilde{\psi}(\varsigma);$$

$$U = \tilde{u}(\varsigma)\eta\sin\theta; \quad V = \tilde{v}(\varsigma); \quad \varsigma = \frac{r}{1 + \eta\cos\theta}. \tag{10}$$

Подставляя (10) в (8) и (9) с точностью до членов $O(\eta A\phi_0)$, придем к следующей обыкновенной системе дифференциальных уравнений и граничных условий к ним:

$$\tilde{\psi}''' = \tilde{C}_2 + N\phi_0^2 \tilde{\psi}' \,; \;\; \tilde{\mathrm{v}}'' = \tilde{C}_1 + N\phi_0^2 \tilde{\mathrm{v}} - \mathrm{A}\phi_0 \,; \tag{11}$$

$$\tilde{\psi}'(0) = 0; \quad \tilde{\psi}'(1) = 0; \;\; \tilde{\mathrm{u}}(0) = 0; \;\; \tilde{\mathrm{u}}(1) = 0 \,;$$

$$\tilde{\mathrm{v}}(0) = -1 \,; \;\; \tilde{\mathrm{v}}(1) = 0 \,; \;\; \int_0^1 \tilde{\mathrm{v}} d\varsigma = 0 \,. \tag{12}$$

Решение задачи (11)-(12) находится непосредственным интегрированием:

$$\tilde{\psi}' = -\frac{\tilde{C}_2}{N\phi_0^2} + \frac{\tilde{C}_2 e^{\sqrt{N}\phi_0 \varsigma}}{N\phi_0^2\left(e^{\sqrt{N}\phi_0} + 1\right)} + \frac{\tilde{C}_2 e^{\sqrt{N}\phi_0} e^{-\sqrt{N}\phi_0 \varsigma}}{N\phi_0^2\left(e^{\sqrt{N}\phi_0} + 1\right)};$$

$$\tilde{\mathrm{v}} = \frac{\mathrm{A}\phi_0 - \tilde{C}_1}{N\phi_0^2} + \tilde{C}_3 e^{\sqrt{N}\phi_0\varsigma} + \tilde{C}_4 e^{-\sqrt{N}\phi_0\varsigma}$$

где $\tilde{C}_3 = \dfrac{A\phi_0 - \tilde{C}_1 + \tilde{C}_1 e^{\sqrt{N}\phi_0} - A\phi_0 e^{\sqrt{N}\phi_0} + N\phi_0^2}{N\phi_0^2\left(e^{N\phi_0^2} - 1\right)}$;

$$\tilde{C}_4 = -\frac{e^{\sqrt{N}\phi_0}\left(\tilde{C}_1 - A\phi_0 - \tilde{C}_1 e^{\sqrt{N}\phi_0} + A\phi_0 e^{\sqrt{N}\phi_0} + N\phi_0^2 e^{\sqrt{N}\phi_0}\right)}{N\phi_0^2\left(e^{N\phi_0^2} - 1\right)}.$$

Так как $\int_0^1 \tilde{\mathrm{v}} d\varsigma = 0$, то

$$\tilde{C}_1 = \frac{\phi_0\left(2N\phi_0^2 e^{\sqrt{N}\phi_0} - 2ANe^{2\sqrt{N}\phi_0} + AN^{3/2}e^{2\sqrt{N}\phi_0}\phi_0 - AN^{3/2}\phi_0 + 4ANe^{\sqrt{N}\phi_0} - N\phi_0^2 - N^2\phi_0 e^{2\sqrt{N}\phi_0}\right)}{N^{3/2}\phi_0 e^{2\sqrt{N}\phi_0} - 2Ne^{2\sqrt{N}\phi_0} - N^{3/2}\phi_0 + 4Ne^{\sqrt{N}\phi_0} - 2N}. \quad (13)$$

Для нахождения безразмерного гидродинамического давления приходим к следующему уравнению

$$\frac{1}{\mu}\frac{dp}{d\theta} = \frac{\tilde{C}_1}{h^2} + \frac{\tilde{C}_2}{h^3}\ . \quad (14)$$

Для интегрирования уравнения (14) вначале необходимо найти μ как функцию от θ. Воспользуемся выражением скорости диссипации энергии

$$\frac{dH'}{d\theta} = 2\mu'\int_0^h\left(\frac{\partial \mathrm{v}'_\theta}{\partial r'}\right)^2 dr' = 2\mu\mu_0\frac{\omega^2 r_0^2 h}{\delta}\int_0^1\left(\frac{\tilde{\psi}''}{h^2} + \frac{\tilde{\mathrm{v}}'}{h}\right)d\varsigma\ . \quad (15)$$

Тогда повышенная температура будет определяться выражением

$$dT' = \frac{dH'}{c_p Q}\ , \quad (16)$$

где Q – расход; c_p – теплоемкость при постоянном давлении.

$$Q = \omega r_0 \delta\int_0^1 \tilde{\psi}'(\varsigma)\, d\varsigma\,. \quad (17)$$

Дифференцируя обе части предпоследнего уравнения системы (1) и комбинируя (16)-(17) для определения $\mu(\theta)$, приходим к следующему уравнению:

$$\frac{d\mu}{d\theta} = -K\mu^2\left(\frac{\Delta_1}{h^3} + \frac{\Delta_2}{h^2} + \frac{\Delta_3}{h}\right), \quad (18)$$

где $\Delta_1 = \int_0^1 \tilde{\psi}''^2 d\varsigma;\quad \Delta_2 = \int_0^1 2\tilde{\psi}''\tilde{\mathrm{v}}' d\varsigma;\quad \Delta_3 = \int_0^1 \tilde{\mathrm{v}}'^2 d\varsigma$; К - тепловой параметр,

$$K = \frac{2\alpha\mu_0\omega r_0}{\delta^2 c_p \int_0^1 \tilde{\psi}'(\varsigma)\, d\varsigma}. \qquad (19)$$

Интегрируя уравнение (18) от 0 до θ, будем иметь

$$\mu = \frac{1}{K\left(1 + \Delta_1 S_3(\theta,\eta) + \Delta_2 S_2(\theta,\eta) + \Delta_3 S_1(\theta,\eta)\right)}, \qquad (20)$$

где $S_k(\theta,\eta) = \int_0^\theta \frac{d\theta}{h^k(\theta)}$.

После необходимых вычислений получим:

$$S_1(\theta,\eta) = \frac{2}{\left(1-\eta^2\right)^{1/2}} arctg\left(\sqrt{\frac{1-\eta}{1+\eta}} tg\frac{\theta}{2}\right);$$

$$S_2(\theta,\eta) = \frac{2}{\left(1-\eta^2\right)^{3/2}} arctg\left(\sqrt{\frac{1-\eta}{1+\eta}} tg\frac{\theta}{2}\right) - \frac{\eta}{1-\eta^2}\frac{\sin\theta}{1+\eta\cos\theta};$$

$$S_3(\theta,\eta) = \frac{2+\eta^2}{\left(1-\eta^2\right)^{5/2}} arctg\left(\sqrt{\frac{1-\eta}{1+\eta}} tg\frac{\theta}{2}\right) -$$

$$-\frac{3}{2}\frac{\eta}{\left(1-\eta^2\right)^2}\frac{\sin\theta}{1+\eta\cos\theta} + \frac{1}{2\left(1-\eta^2\right)}\frac{\sin\theta}{\left(1+\eta\cos\theta\right)^2}. \qquad (21)$$

В качестве вязкости μ возьмем среднее арифметическое $\theta = 0$ и $\theta = \pi$ (в нагруженной области):

$$\mu \approx \frac{\mu(0) + \mu(\pi)}{2}. \qquad (22)$$

Интегрируя уравнение (14) от 0 до θ с учетом (22), будем иметь

$$p = \mu\tilde{C}_1 S_2(\theta,\eta) + \mu\tilde{C}_2 S_3(\theta,\eta).$$

Замечая, что при $\theta = 2\pi$ арктангенсу соответствует значение π, получим необходимые для дальнейшего значения этих функций при $\theta = 2\pi$:

$$S_2(2\pi,\eta) = \frac{2\pi}{\left(1-\eta^2\right)^{3/2}}; \quad S_3(2\pi,\eta) = \frac{\pi\left(2+\eta^2\right)}{\left(1-\eta^2\right)^{5/2}}; \quad S_2(2\pi,\eta) = \frac{2\pi}{\left(1-\eta^2\right)^{1/2}}.$$

Из условий (6) найдем $\tilde{C}_2$:

$$\tilde{C}_2 = \frac{2\mu(\theta)\tilde{C}_1\left(\eta^2-1\right)}{\left(2+\eta^2\right)};\ \tilde{C}_1 \text{ находим по формуле (13).}$$

Перейдем к аналитическим выражениям для определения основных рабочих характеристик подшипника: несущей способности, силы трения и расхода.

Проекции главного вектора воздействия смазок на шип определяются формулами:

$$F_x = r_0 \int_0^{2\pi} p' \sin\theta d\theta; \quad F_y = -r_0 \int_0^{2\pi} p' \cos\theta d\theta. \tag{23}$$

Заметим, что в силу периодичности давления p' и четности $\cos\theta$ второй интеграл соответственно равен нулю. Первый интеграл проще вычислить по частям. Найдем

$$F_x = -r_0 \int_0^{2\pi} p' d\left(\cos\theta\right) = -r_0 p' \cos\theta \Big|_0^{2\pi} + r_0 \int_0^{2\pi} \frac{dp'}{d\theta} \cos\theta d\theta = r_0 \int_0^{2\pi} \frac{dp'}{d\theta} \cos\theta d\theta =$$

$$= r_0 p^* \mu \left[\int_0^{2\pi} \frac{\tilde{C}_1 \cos\theta}{h^2} d\theta + \int_0^{2\pi} \frac{\tilde{C}_2 \cos\theta}{h^3} d\theta \right].$$

Так как $\int_0^{2\pi} \frac{\tilde{C}_1 \cos\theta}{\left(1+\eta\cos\theta\right)^2} d\theta = -\frac{2\pi\eta\tilde{C}_1}{\left(1-\eta^2\right)^{3/2}}$, $\int_0^{2\pi} \frac{\tilde{C}_2 \cos\theta}{\left(1+\eta\cos\theta\right)^3} d\theta = -\frac{3\pi\eta\tilde{C}_2}{\left(1-\eta^2\right)^{5/2}}$,

то

$$F_x = r_0 p^* \mu \left[-\frac{2\pi\eta\tilde{C}_1}{\left(1-\eta^2\right)^{3/2}} - \frac{3\pi\eta\tilde{C}_2}{\left(1-\eta^2\right)^{5/2}} \right]. \tag{24}$$

Сила трения и расход соответственно определяются по формулам:

$$F_{mp} = \mu \int_0^{2\pi} \left. \frac{\partial \mathrm{v}_\theta}{\partial r} \right|_{\varsigma=0} d\theta = \frac{\mu\omega r_0}{\delta} \int_0^{2\pi} \tilde{\mathrm{v}}' d\theta; \tag{25}$$

$$Q = hu^* \int_0^1 \psi'(\varsigma) d\varsigma \ . \tag{26}$$

Результаты численного анализа полученных аналитических выражений для основных рабочих характеристик (24)-(26), приведенные на рис.2 и 3, показывают:

1) безразмерная сила трения подшипника не имеет явно выраженного максимума и минимума. При значениях параметра, характеризующего магнитную индукцию $N \in (0,0.4)$, имеет место резкое увеличение силы трения, а при $N > 0.4$ сила трения стабилизируется. Напряженность электрического поля *A* не оказывает существенного влияния на значение силы трения;

2) при $N \in (0,0.2)$ имеет место резкое уменьшение расхода смазки, при $N > 0.2$ расход стабилизируется; электрическая напряженность *A* практически не влияет на расход.

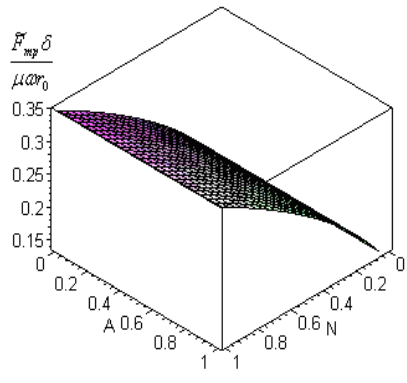


Рис.2. Зависимость безразмерной силы трения $\frac{\tilde{F}_{mp}\delta}{\mu\omega r_0}$ от параметра A, характеризующего напряженность электрического поля, и N, характеризующего магнитную индукцию

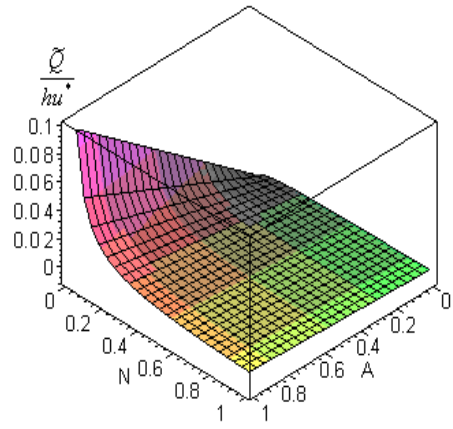


Рис.3. Зависимость расхода $\frac{\tilde{Q}}{hu^*}$ от параметра A, характеризующего напряженность электрического поля, и N, характеризующего магнитную индукцию

Таким образом, полученные результаты позволяют:

1) определить расход смазки, обеспечивающей жидкостный режим трения;

2) оценить влияние безразмерных критериев *A* и *N,* присущих электропроводящей смазке, на основные рабочие характеристики радиального подшипника;

3) найти область изменения значений магнитной индукции, где имеет место резкое увеличение силы трения и ее стабилизация; а также уменьшение расхода смазки.

Выводы. В связи с тем, что наличие электромагнитного поля способствует стабилизации движения шипа, полученные результаты дают предпосылку решения основной задачи, связанной с устойчивостью движения шипа в подшипнике, работающего на электропроводящей смазке.

Библиографический список

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа; изд. 4-е. / Л.Г. Лойцянский. // Главная редакция физико-математической литературы издательства. – М.: Наука 1973. – С. 467-484.

2. Ахвердиев К.С. Расчет упорных подшипников с эффективной работой на смазке с расплавом в турбулентном режиме / К.С. Ахвердиев, Л.И. Котельницкая, Н.Н. Демидова // Вестник РГУПС. – №2. –2002. –С.5-10.

2. Болотов А.Н. Трение в подшипниках с тиксотропной магнитной жидкостью / А.Н. Болотов, Г.С. Елисеева, Ю.О Михалев // Трение и износ. – 1988 (9). – №1. – С. 90-96.

3. Проскурин А.В. Устойчивость течения электропроводящей жидкости в канале кольцевого сечения / А.В. Проскурин, А.М. Сагалаков // Устойчивость и турбулентность течений гомогенных и гетерогенных жидко-

стей: тез. докл. – Новосибирск: Институт теоретической и прикладной механики СО РАН. – 2004. – С. 118-119.

4. Проскурин А.В. Устойчивость течения слабоэлектропроводящей жидкости в канале кольцевого сечения при наличии спирального магнитного поля / А.В. Проскурин, А.М. Сагалаков // Вестник Томского государственного университета. Бюллетень оперативной научной информации. – 2005. – №44, апрель. – С. 42-46.

Материал поступил в редакцию 3.02.09.

K.S. AKHVERDIEV, E.O. LAGUNOVA, M.A. MUKUTADZE

HYDRODYNAMIC CALCULATION OF RADIAL BEARING IN ELECTROMAGNETIC FIELD CONSIDERING ITS DEPENDENCE ON VISCOSITY AND ELECTROCONDUCTIVITY ON TEMPERATURE

We considered movement of electroconducting greasing in a backlash of the radial bearing in the presence of electromagnetic field with the account of its dependence of viscosity and electroconductivity on temperature. We estimated influence of the parametres characterising magnetic induction and intensity of electric field on the basic performance data.

АХВЕРДИЕВ Камил Самедович (р. 1938), заведующий кафедрой «Высшая математика - 2» Ростовского государственного университета путей сообщения (1975), доктор технических наук. Окончил Азейбарджанский государственный университет (1959).
Научные интересы – трение и износ в машинах.
Опубликовал более 300 научных трудов, в том числе 8 монографий и 20 патентов.

ЛАГУНОВА Елена Олеговна, ассистент кафедры «Высшая математика - 2» Ростовского государственного университета путей сообщения. Окончила Ростовский государственный университет (ЮФУ) (1999).
Научные интересы – упорные и радиальные подшипники, работающие на электропроводящей смазке.
Опубликовала 12 научных статей.

МУКУТАДЗЕ Мурман Александрович (р. 1963), доцент кафедры «Высшая математика - 2» Ростовского государственного университета путей сообщения (1995), кандидат технических наук (1993). Окончил Ростовский государственный университет путей сообщений (1986).
Научные интересы – трение и износ в машинах.
Опубликовал более 30 научных статей.

vm_2@kaf.rgups.ru

УДК 629.4.027.11+06

Ал.Ал. ДЕМЬЯНОВ, Ал.Ан. ДЕМЬЯНОВ, О.С. СОСЕДКИНА

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОХРАННОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ БАШМАЧНОМ ТОРМОЖЕНИИ

В данной статье предложена методика регулирования скорости сортируемых вагонов, которая дополняя широко применяемую технологию башмачного торможения, позволяет исключить образование ползунов. Показан экономический эффект от внедрения противоползунной системы.

Ключевые слова: *сортировочная горка, башмачное торможение вагонов, противоползунная система, экономический эффект, промышленное внедрение.*

Введение. В системе российских железных дорог существует около 50 немеханизированных горок, на которых скоростью вагонов управляют вручную при помощи тормозного башмака (ТБ). Кроме этого, немеханизированные горки имеют и промышленные предприятия. Как известно, применение ТБ ведёт к термомеханическим повреждениям поверхности катания колес в виде односторонних ползунов (рис.1), которые значительно сокращают срок эксплуатации колес, буксовых узлов, верхнего строения пути. С учетом горок промышленных предприятий на каждый вагон в год приходится до 18 башмачных торможений, при каждом из которых возможно образование браковочного ползуна. Кроме того, известно [1], что на один браковочный ползун (глубиной 1 мм и более) в среднем может приходиться до 50 единиц невыбраковочных ползунов, имеющих размер от 0,4 до 0,8 мм. Такие ползуны значительно ухудшают динамические характеристики взаимодействия колеса и рельса и являются "благодатной почвой" для образования браковочных ползунов.

Рис.1. Односторонний ползун

В связи с важностью данной проблемы был принят ряд отраслевых программ РЖД (протокол № 50 от 19.06.00, указание НР 155 от 06.03.01, указание № 111у от 08.07.03 и т. д.), направленных на исключение потерь транспорта от повреждений в системе «экипаж–путь» при эксплуатации, в том числе и за счёт исключения образования односторонних ползунов.

Оснащение малых горок с пропускной способностью до 1500 вагонов в сутки в отличие от средних и больших (более 3500 вагонов) горок серийными вагонными замедлителями из-за их высокой стоимости становится экономически невыгодным. Поэтому разработка экономически адекватной для малых горок технологии замедления вагонов, исключающей образование термомеханических повреждений колес вагонов при их торможении, является важной отраслевой задачей.

Механизмы системы «путь–подвижной состав» работают в экстремальных условиях и подвергаются воздействию большого числа факторов, уровень значимости которых изменяется в зависимости от срока эксплуатации, нагрузочно-скоростных характеристик подвижного состава, состояния пути и метеорологических условий.

Для прогнозирования поведения системы под влиянием внешних факторов необходимо найти наиболее уязвимые места системы, т.е. важно подобрать точный метод формального представления системы. Моделирование механических систем позволяет исследовать особенности их функционирования в различных условиях, наделять их требуемыми характеристиками и снижать риск выхода их из строя. Как известно, именно совершенство кинематической модели определяет основные параметры механизма и никакими конструктивными и технологическими улучшениями нельзя исправить ошибки, допущенные при разработке кинематической модели.

Так, например, одним из основных показателей качества механической системы является надежность, которая характеризует ее конструкцию в условиях эксплуатации и закладывается на стадии проектирования. Допущенные на этом этапе принципиальные просчеты не могут быть компенсированы на стадии производства и приводят к снижению эффективности объекта в эксплуатации.

Очевидно, что для решения поставленной задачи необходимо использование методики, позволяющей синтезировать новые кинематические модели на основе анализа существующих в рамках системного подхода.

Методика эволюционного синтеза кинематической модели. Задача решалась с применением методики эволюционного синтеза [2], которая заключается в поэтапном изменении структурной и функциональной составляющей кинематической модели и обеспечивает минимизацию принципиальных просчетов, которые нельзя компенсировать на стадии производства.

Эволюция кинематической модели оценивается агрегатными индексами. Если в индексируемом процессе необходимо выделить разнородные параметры, например x и y, то агрегатный индекс вычисляется по формуле

$$J_{xy} = \frac{\sum X_{j+1}}{\sum X_j} \cdot \frac{\sum y_{j+1}}{\sum Y_j}, \qquad (1)$$

где x, y – индексируемые величины; j, j_{+1} – знаки базисного и текущего периодов, соответственно.

Если один из сомножителей характеризует структурную составляющую, а другой - функциональную, то уравнение (1) описывает их соотношение на разных этапах синтеза.

В качестве показателя структуры кинематической модели используется «условная» вероятность безотказной работы, которая принимается по реальным механизмам аналогичного класса. Условная вероятность безотказной работы используется как показатель относительного изменения структуры.

Решение первой части задачи (1) осуществляется приведением всех элементов кинематической модели к вероятности безотказной работы P_i, i-го элемента (например, имеющего наименьшее значение).

При решении второй части задачи обозначаем функциональную составляющую комплексным показателем *k*, а входящие в нее параметры (например, скорость, нагрузку, производительность и т.д.) через $k_1, k_2, \ldots, k_i$.

Уравнение, фиксирующее изменения количественных показателей в процессе эволюционного синтеза, имеет вид:

$$\Psi_к = \Psi_c \cdot \Psi_ф \qquad (2)$$

или

$$\Psi_k = \frac{(P_i^{ak} \cdot P_i^{bn} \cdot P_i^{cp})_{j+1}}{(P_i^{ak} \cdot P_i^{bn} \cdot P_i^{cp})_j} \cdot \frac{(k_1 \cdot k_2 \cdot \ldots \cdot k_i)_{j+1}}{(k_1 \cdot k_2 \cdot \ldots \cdot k_i)_j}, \qquad (3)$$

где Ψ_c, $\Psi_ф$, $\Psi_к$ – структурный, функциональный и комплексный индексы адаптации; P_{ik} – вероятности безотказной работы неподвижных звеньев; P_{in} – вероятности безотказной работы подвижных звеньев; P_{ip} – вероятности безотказной работы кинематических пар; *a, b, c* – корректирующие коэффициенты, учитывающие неравномерное распределение вероятностей.

Полученное уравнение позволяет минимизировать структуру кинематической модели на ранних стадиях проектирования и, следовательно, повышает вероятность эффективного решения задачи.

Исключение функционально неэффективных проектных условий в процессе эволюции обеспечивается анализом иерархических соотношений проектных условий с использованием методов ранговой корреляции, случайного баланса и функционального анализа. Методика основана на формировании внутриуровневых и межуровневых связей проектных условий по соответствующим целевым функциям, имеющим вид

$$Y = \begin{cases} Y_1\left[Z_1\left(\sum_{a=1}^{1} X_{ja}\right), Z_2\left(\sum_{b=1}^{r} X_{jb}\right), \ldots, Z_f\left(\sum_{c=1}^{d} X_{jc}\right)\right]; \\ Y_2\left[Z_1\left(\sum_{a=1}^{1} X_{ja}\right), Z_2\left(\sum_{b=1}^{r} X_{jb}\right), \ldots, Z_f\left(\sum_{c=1}^{d} X_{jc}\right)\right]; \\ Y_3\left[Z_1\left(\sum_{a=1}^{1} X_{ja}\right), Z_2\left(\sum_{b=1}^{r} X_{jb}\right), \ldots, Z_f\left(\sum_{c=1}^{d} X_{jc}\right)\right], \end{cases} \qquad (4)$$

где *Y* – межуровневая и $Y_1, Y_2, \ldots Y_n$ – внутриуровневые целевые функции; $X_a, X_b, \ldots, X_c$ – проектные условия, сгруппированные соответственно по признакам $Z_1, Z_2, \ldots, Z_f$ (например, нагрузочно-скоростной режим, технологичность, тип подсистемы и т.д.).

Для определения значений переменных используются расчетно-экспериментальные методы в сочетании с математическим планированием эксперимента и физическим моделированием.

Конструкция и принцип действия противоползунной системы (ППС). Согласно поставленной задаче разработана методика регулирования скорости сортируемых вагонов, которая, дополняя широко применяемую технологию башмачного торможения, позволяет исключить образование ползунов.

Методика, исключающая термомеханические повреждения колес при горочных операциях с использованием ТБ основана на периодической смене поверхности контакта колес с рельсами за счет периодического перехода подбашмаченной пары от трения скольжения к трению качения. Согласно методике весь путь трения колёсной пары L_T на каждой тормозной позиции разбивается на интервалы L_i (торможение коротким юзом), в пределах которых, образование термомеханических повреждений колес исключается

$$L_T = \Sigma L_i \,. \qquad (5)$$

На основе этой методики разработана противоползунная система – упорядоченная система устройств (рабочих модулей), расположенных на шейке рельсовой нити со стороны установки тормозного башмака в заданном порядке с интервалом не более семи метров.

Переход пары от трения скольжения к трению качения осуществляется за счет входа гребня подбашмаченного колеса на рабочий модуль, его отрыва от полоза тормозного башмака и проворачивания всей пары на заданный угол. В результате проворачивания меняется участок контакта неподбашмаченного колеса с рельсом до образования ползуна.

Каждый рабочий модуль противоползунной системы (рис.2) состоит из клинового элемента, связанного с несущим элементом и плитой, закрепленной на поверхности шпал путевыми шурупами, а также связанного с рельсом путевыми болтами. Напротив каждого модуля на втором рельсе устанавливается контррельс.

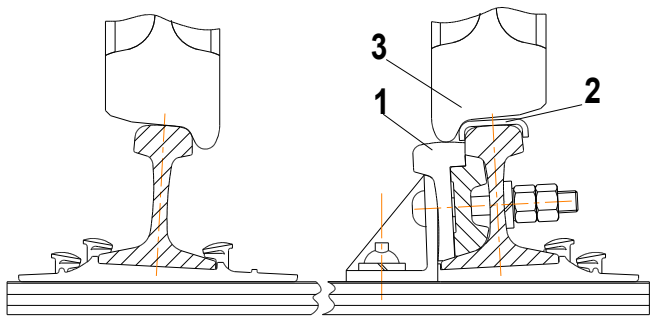


Рис. 2. Кинематическая схема рабочего модуля противоползунной системы:
1 – рельс; 2 – тормозной башмак (показан только полоз); 3 – колесо

Рабочие модули имеют степень унификации 97% при 100% использовании материалов и деталей, применяемых в путевом хозяйстве, благодаря чему техническое обслуживание такой системы сведено к стандартным для горки операциям, регулярно проводимым работниками дистанции пути.

Техническая документация на противоползунную систему прошла рецензирование специалистов ВНИИАС (отдел А и МСП), а также согласована в Департаментах управления перевозками, вагонного хозяйства, локомотивного хозяйства, технической политики, пути и сооружений и ут-

верждена вице-президентом ОАО "РЖД". На конструкцию тормозной позиции горки с противоползунной системой получен патент №2338657.

К настоящему времени об использовании другой промышленной технологии, исключающей повреждение колес при торможении на немеханизированных горках, неизвестно.

Методика эксплуатационных испытаний. Поскольку только в реальных условиях можно достоверно установить сроки безотказной работы и причины, вызывающие отказы отдельных узлов или деталей механизма в целом, то апробация ППС проводилась в условиях работы сортировочной горки по разработанной и согласованной с РЖД методике, содержащей два этапа.

На *первом этапе* оценивались работоспособность и безотказность ППС в зависимости от нагрузочно-скоростных характеристик, тормозимых башмаками, вагонов.

Для определения числа повторных торможений [3] при многократном измерении одного и того же параметра учитывалась доверительная вероятность эксперимента (коэффициент надёжности), равная 95%. Для обеспечения 95%-ной вероятности отсутствия образования ползунов в процессе роспуска состава фиксировались результаты семи торможений для вагонов весом 20…80 т в скоростном интервале 5…15 км/ч.

На *втором этапе* определялись безотказность в зависимости от эксплуатационной наработки и долговечность ППС в условиях работы сортировочной горки.

Для получения достоверных результатов эксплуатационные испытания ППС проводились без ограничений по массе и скорости тормозимых вагонов, круглосуточно, независимо от погодных условий и времени года. В процессе испытаний регистрировалось:

– возникновение дефектов и отказов (по углу проворачивания) модулей ППС и их частей;

– результаты осмотра колесных пар, подвергшихся торможению на путях, оборудованных ППС, с замером образовавшихся ползунов;

– количество вагонов, прошедших через ППС за весь период эксплуатации.

Программа и результаты эксплуатационных испытаний. Эксплуатационные испытания были проведены согласно методики в два этапа на путях немеханизированной сортировочной горки Воронежского парка ст. Лихая СКЖД.

На рис.3 представлен фрагмент второй тормозной позиции 19-го пути перед роспуском состава. Типовая тормозная позиция включает рабочий модуль, монтируемый в паре с контррельсом, и башмакосбрасыватель (не показан), установленный в конце тормозной позиции, а также блок тормозных башмаков, подготовленный к установке под колесные пары.

Продолжительность первого этапа испытаний составила 1 месяц, за который через ППС было пропущено 1500 вагонов. Никаких ограничений в режим работы горки, кроме тех, что определены ПТЭ, не вводилось.

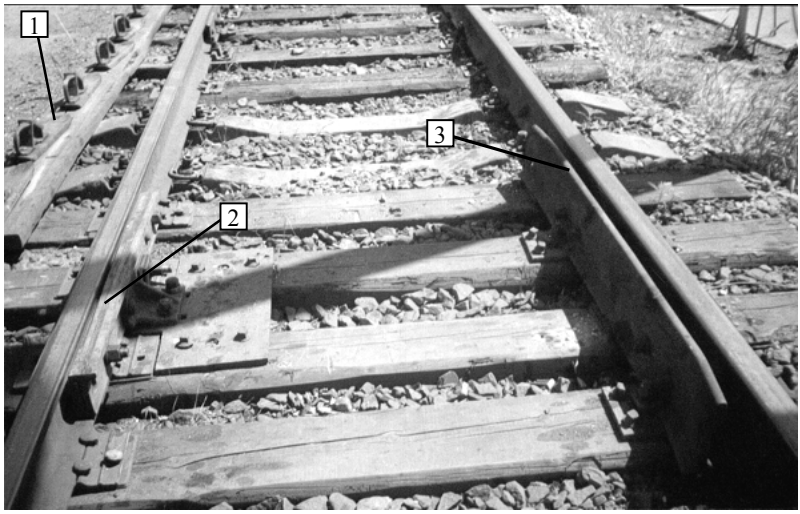


Рис. 3. Фрагмент тормозной позиции сортировочной горки станции Лихая, оборудованной противоползунной системой: 1 – тормозные башмаки; 2 – рабочий модуль; 3 – контррельс

На втором этапе продолжительность эксплуатации испытаний составила 10 месяцев и охватила весенний, летний, осенний и зимний периоды и так же, как и на первом этапе, проходила в ординарном для горки режиме.

Результаты испытаний показали, что:

– применение ППС на горках с башмачным торможением исключает образование односторонних ползунов;

– даже на тяжелых (80т) вагонах на поверхности катания колеса обнаружены только пятна цвета побежалости, не фиксируемые вагонным шаблоном;

– непрерывная эксплуатационная наработка, в течение которой ППС сохраняет безотказность, составляет порядка 12 месяцев без замены элементов, контактирующих с колесами вагонов и локомотивов;

– эксплуатация ППС не оказывает влияния на безопасность движения.

На рис.4 показан момент поднятия колеса над полозом башмака при накатывании гребня на профильный элемент модуля.

Результаты эксплуатационных испытаний подтверждены выводами комиссии, включающей сотрудников ВНИИАС (протокол от 19.01.2006), назначенной в соответствии с письмом вице-президента ОАО "РЖД" № ЦДСТ-3/1 от 17.01.06., выводами межведомственной комиссии (акт от 28.02.2006), назначенной в соответствии с телеграммой вице-президента ОАО "РЖД" № ВГ-1488 от 26.02.06).

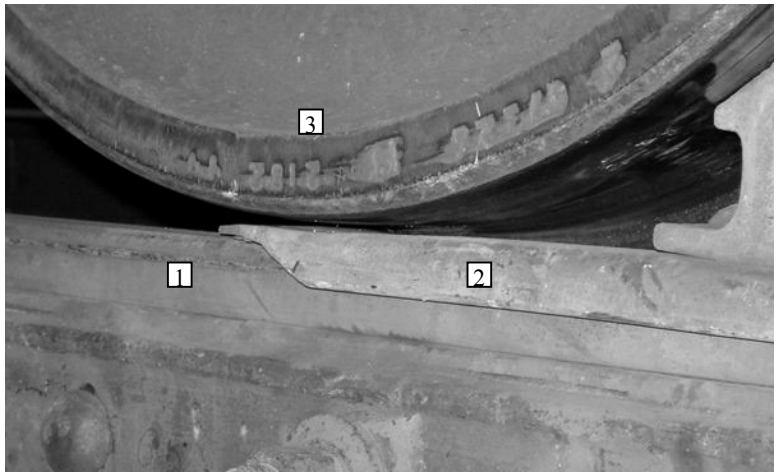


Рис.4. Поднятие колеса над полозом башмака
при накатывании гребня на профильный элемент модуля:
1 – рельс; 2 – тормозной башмак; 3 – колесо вагона

Предварительные испытания образцов ППС проводились на ст. Ростов-Товарная в мае – июне 2005 г. С 01.07.05. была начата непрерывная промышленная эксплуатация ППС, установленной на 18 и 19-ом пути сортировочной горки Воронежского парка ст. Лихая СКЖД. С апреля 2008 года такой системой сортировочная горка была оборудована полностью. Было принято решение принять ППС за основу для оборудования всех немеханизированных горок сети железных дорог.

Расчет экономического эффекта. На основании данных промышленной эксплуатации рассчитан экономический эффект от внедрения противоползунной системы по методике возмещения ущерба МПС РФ от 25.09.00, в котором учтены только непосредственные потери от выбраковки, ремонта и преждевременной потери ресурса колесных пар.

Как показывает практический опыт, толщина снимаемого слоя металла с обода колесной пары при обточке за один ремонт колеблется от 4 до 25 мм в зависимости от характера ползуна и развития повреждений, связанных с ним. Среднюю глубину обточки можно принять 15 мм.

Так, при обточке колёсной пары её ресурс сокращается на 8...48 %, что соизмеримо с потерей 8...48 % колёсных пар соответственно, следовательно, средние потери составят 30 %. За последние пять лет на СКЖД по наличию односторонних ползунов в среднем производится обточка с полной ревизией порядка 2000 колесных пар ежегодно. В целом по отрасли обточка по ползунам составляет как минимум 40000 пар.

Учитывая вышеизложенное, экономический эффект ΔE, полученный за счет исключения ущерба, связанного с потерей ресурса от преждевременной обточки колесных пар по ползунам, будет иметь следующую зависимость

$$\Delta E = N \cdot T_K \cdot \chi = 80000 \cdot 2000 \cdot 0{,}3 = 48000000 \text{ руб.},$$

где T_K = 80 тыс. руб. – стоимость одной новой колесной пары; N – количество дефектных колесных пар, шт.; χ =0,3 – коэффициент, учитывающий средние потери ресурса от проточки колесной пары.

Таким образом, средний ежегодный экономический эффект, получаемый только за счет сохранения ресурса колесных пар путем исключения обточек по односторонним ползунам, составит для СКЖД – порядка

48 млн. руб. в год, а по отрасли 960 млн. руб. в год. С учетом исключения суммарных затрат на ремонт колесной пары (оцениваемых в 5,5…6 тыс. руб. на вагон) средний экономический эффект составит для СКЖД – порядка 60 млн. руб. в год, а по отрасли 1,2 млрд. руб. в год. По предварительным расчетам срок окупаемости противоползунной системы не превысит шести месяцев.

В данном расчете не учтены опосредованные потери от преждевременного выхода из строя буксовых узлов и элементов верхнего строения пути, а также потери от простоя вагонов. Если учесть, что ежегодно обнаруживается порядка 50000 штук остродефектных рельсов и 80000 вагонов, повреждение которых в основном связано с ползунами [2], то экономический эффект будет значительно больше.

Библиографический список

1. Демьянов Ал.Ан. Особенности повреждения поверхности катания колесных пар при башмачном торможении. / Ал.Ан. Демьянов, Ал.Ал. Демьянов, Н.Н. Бачкарев. // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2006. – №9. – С.40-44.

2. Демьянов Ал.Ан., Теоретические основы адаптивного синтеза фрикционых систем. / Ал.Ан. Демьянов, Ал.Ал. Демьянов, А.В. Дорохина, Т.В. Лобченко. // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2006. – №4. – С.22-25.

3. Евдокимов Ю.А. Планирование и анализ эксперимента при решении задач трения и износа / Ю.А.Евдокимов, В.И. Колесников, А.И. Тетерин. – М.: Наука, 1980. – 220 с.

Материал поступил в редакцию 10.02.09.

ДЕМЬЯНОВ Алексей Александрович (р.1977), доцент кафедры "Основы проектирования машин" Ростовского государственного университета путей сообщения, кандидат технических наук. Окончил в 1999 году РГУПС.
Научное направление – системы безопасности подвижного состава.
Автор более 40 научных работ.

ДЕМЬЯНОВ Александр Анатольевич (р.1950), профессор кафедры "Основы проектирования машин" Ростовского государственного университета путей сообщения, доктор технических наук. Окончил в 1972 году РГУПС.
Научное направление – теория синтеза механических систем.
Автор более 60 научных работ.

СОСЕДКИНА Ольга Сергеевна, ассистент кафедры "Основы проектирования машин" Ростовского государственного университета путей сообщения. Окончила в 2005 году РГУПС.
Научное направление – система безопасности подвижного состава.
Имеет 15 научных работ.

neoma2007@yandex.ru

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК 101.8:316:7.01

Л.Г. ОРЕХОВА

МЕТАФИЗИКА СТРАХА В ИСКУССТВЕ

В статье рассматриваются различные аспекты художественного образа страха и типы страха в искусстве. Искусство влияет на формирование способов отношения к страху в обществе, помогает осмыслить его значение, а также выработать технологии его преодоления.

Ключевые слова: *страх, искусство, цивилизация, метафизика, художественный образ.*

Введение. На каждом этапе развития цивилизации тема страха не утрачивала своей актуальности. В различных культурах присутствует метафизика страха. Специфическая метафизика страха особенно ярко проявляется в искусстве. Предмет страха не только находит в нем свое эмоционально-чувственное выражение, но и материально «олицетворяется». Духовный способ отношения человека к действительности, духовное производство и духовные потребности способствовали формированию в искусстве художественного образа страха. Этот образ реализуется в разных аспектах.

Аспекты художественных образов страха. Художественный образ страха в онтологическом аспекте является идеальным бытием. В образе используются многочисленные возможности исходного материала реальности как знаки собственного содержания. Образ страха приобретает материальный субстрат, который проявляется в вещественном воплощении в скульптуре, живописи, народном творчестве. Воплощение образа страха в различных продуктах духовного производства людей является способом его бытия в искусстве.

В семиотическом аспекте художественный образ страха есть символ, знак, выступающий средством смысловой коммуникации в рамках одной культуры или же нескольких культур. В истории развития человечества символ страха оказывается фактом воображенного бытия, которое реализуется в воображении субъекта, владеющего "шифром" к его содержанию. "В различных видах креста часто можно усмотреть попытку художников еще более явственно представить его как инструмент пыток" [1. С.25-26].

В гносеологическом аспекте художественный образ страха есть вымысел, который идентичен допущению. Наиболее часто такой вымысел реализуется в форме ужаса и связанных с ним проявлениях и воплощениях. Изображение страха в книгах, фильмах, на полотне остается как бы чистой возможностью. Художественный образ является допущением особого рода, которое внушается художником с максимальной, чувственной убедительностью.

Специфика отображения страха в культуре и реализация художественного образа страха позволяют привести общую типологию встречающихся страхов в искусстве. Можно выделить следующие типы страхов:

фольклорные, мистические, криминалистические, танатологические и футурологические.

Культурные первообразы страха, отражающие особенности этноса и специфику предметно-практической деятельности, дошли до нас в народном фольклоре. Фольклорные страхи являются начальной стадией в формировании художественного образа страха и поиска путей его преодоления. Образ страха воплощается в различных жанрах – сказке, эпосе, былине, притчах, песнях, легендах и т.д. В фольклоре вырабатывается идеал героя, способный противостоять силам зла, олицетворяющим страх, и побеждать их. Бесстрашие героя служит примером преодоления страхов.

Появления мистических страхов обусловлено не деятельностью субъекта, а его психологическим состоянием, не испытываемым ранее. В нетеистической мистике объектом постижения выступает безличное трансцендентное начало. Таинственное "имеет способность" проникать в реальный мир, вмешиваться в жизнь людей, держать их в постоянном страхе от невозможности объяснить и понять происходящие. Таинственное и необъяснимое в жизни людей, случайность и предопределенность, "двоемирие", дуализм явлений и сущностей, относительность границ между реальным и нереальным, действительным и неправдоподобным – все это страшит, но в то же время пробуждает исследовательский интерес.

В мистических страхах выражаются такие черты, как амбивалентность, загадочность предмета (страх перед неизвестностью), неопределенная неопределенность (страх перед «Ничто») и влечение к предмету.

Криминалистические страхи имеют определенность предмета, выражая степень беспокойства общества, государства, личности перед криминалом и общественно опасными деяниями, являются стимулом для поиска новых форм, средств и способов борьбы с преступностью, способствуют повышению требований к соблюдению законности. Формой выражения данных страхов в культуре является жанр детектива (исторический, политический), а также триллер, вестерн и истории катастрофы. Во всех произведениях этого жанра затрагиваются социальные темы, описываются общественная среда и происходящие в ней криминальные процессы. Авторы произведений показывают, что в обществе имеются силы, способные препятствовать социальной деградации и дезорганизации, вытеснять насилие, жестокость и индивидуализм, «снимая», таким образом, криминалистические страхи.

Танатологические страхи появляются на определенном этапе развития человеческой истории. Условно приобретенный опыт смерти дает основания к познанию и осмыслению этого явления. Знание о своей смертности и конечности субъективного бытия порождает страх перед смертью. Но это знание высвечивает проблемы смысла жизни, предназначения человека. Танатологический страх побуждает смотреть на жизнь как главную общечеловеческую ценность.

Стремление личности заглянуть в будущее порождает футурологические страхи. Футурологические страхи обусловлены деятельностью человека, которая направлена в будущее. Ощущать будущее тревожно – особенность существования человека. История развития человечества полна природных и социальных катаклизмов, войн, катастроф, которые экстраполируются в будущее. Пессимистические прогнозы развития современной

цивилизации, обострение глобальных проблем актуализируют данные страхи. Но в то же время футурологический страх является катализатором в осмыслении этического контекста техники, науки и различных форм деятельности человека, способствует поиску форм интеграции и взаимодействия в решении вопросов сохранения целостности человека и цивилизации.

Многообразие существующих страхов предполагает их комплексное исследование. Это исследование возможно не только в рамках научного познания, но и с помощью художественного образного познания, открывающего новые стороны в познающем объекте. В искусстве тема страха представлена широко и многообразно. Различные жанры способствуют всестороннему анализу феномена страха. В художественной действительности страх имеет свои специфические черты, которые наглядно демонстрируются в различных видах искусства.

Выводы. Учитывая изложенное выше, можно предположить, что искусство помогает осмыслить значение страха в жизни отдельного индивида, в обществе и цивилизации. Это осмысление вырабатывает способы отношения к страху, является формой научения техники социализации страха. Появление новых видов искусства в духовной жизни, формирование экранной культуры будут способствовать освоению страхов, возникающих в процессе социальных преобразований, так как каждая эпоха порождает присущие ей типы страха.

Библиографический список

1. Бауер В. Энциклопедия символов. / В. Бауер, И. Дюмоц, С. Головин. – М.: "Крон-Пресс", 1995.

Материал поступил в редакцию 2.03.09.

L. OREKHOVA

METAPHYSICS OF FEAR IN ART

Various aspects of an artistic image of fear and types of fear in art are considered in this article. Art promotes formation of the various attitude to fear in a society. In helps to comprehend his value, and also to produce technologies of his overcoming.

ОРЕХОВА Лариса Георгиевна, доцент кафедры «Связи с общественностью» ДГТУ, кандидат философских наук. Окончила философский факультет «Философия» Ростовского государственного университета.
Область научных интересов – социальная и политическая философия, проблемы информационных технологий.
Имеет 12 научных публикаций.
Orekhovalara@yandex.ru

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 001.895:005.342

С.М. ХАЩИН, А.Е. САФРОНОВ, В.В. КАЛУГИНА

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭФФЕКТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ НОВОВВЕДЕНИЙ

В статье раскрыт механизм создания, формирования и реализации научно-технических нововведений, влияющих на величину экономического эффекта от реализации нововведений.
Ключевые слова: *нововведение, новшество, спрос, потребность, процесс, рынок, маркетинг.*

Введение. В условиях рыночной системы хозяйствования эффективность производства во многом зависит от возможностей осуществления научно-технических нововведений. Современные организации могут развиваться только в условиях конкурентной борьбы, самостоятельно участвуя в процессе создания инновационной продукции (от возникновения идеи до получения образцов новой продукции), которая должна быстро внедряться в производство.

Качественные изменения в экономике могут быть достигнуты, если понять влияние науки и техники на жизнь общества. Только при достаточно четком представлении об источниках технических идей, факторах и эффективных инновационных методах, способствующих их материальному воплощению и распространению в обществе, возможно создавать товары, максимально полезные для потребителей. При этом достаточно важным условием управления уровнем качества продукции на этапах производства и, следовательно, уровнем качества готового изделия по оптимальной «полезной» цене реализации является прогнозирование технико-экономических показателей товара, обладающего определенной степенью новизны по этапам инвестиционного проектирования.

Выражение «процесс осуществления научно-технических нововведений охватывает виды деятельности, посредством которых научно-технические знания воплощаются в материальную действительность и начинают использоваться в масштабах, дающих значительный общественный эффект». При этом выделяются: ретроспективный и текущий уровни научно-технических знаний, приобретение новых знаний, выдвижение научно-технической идеи, воплощение идеи в материальный продукт или в новый способ, внедрение продукта в производстве, его освоение и распространение включительно до момента, когда влияние новшества становится значительным [5. С.85].

Процесс осуществления научно-технических нововведений. Процесс осуществления научно-технических нововведений чрезвычайно многообразен, сложен, различно протекает для разных новшеств. В экономи-

ческих исследованиях встречаются несколько отличающиеся по своей детализации понятия этого термина.

Процесс осуществления научно-технических нововведений есть результат поиска и трансформации первой концепции, когда возникшая идея задумана или признана (предложена); последующее прохождение через ряд тесно переплетённых стадий - исследование, разработка, инженерное решение, конструирование, изготовление опытного образца (партии), анализ рынка сбыта. Наконец, первая реализация, при которой успешный продукт (в действительности он может являться новым изделием, товаром, методом, технологией, техническим принципом, новым материалом или процессом...) принимается рынком [9. С.455].

На рис.1 показана упрощённая схема процесса введения научно-технического нововведения, причём этот процесс разделён на три различных стадии.

Рис.1. Схема введения научно-технического нововведения

Процесс введения нового технического решения, изображенный в виде схемы (см.рис.1), показывает особенности его рассмотрения в процессе его реализации, без учета исходных условий его появления и факторов, обеспечивающих успех нового технического решения.

На рис. 2 показана расширенная модель процесса рождения и введения нового технического решения; особое внимание уделяется тому, что существуют параллельно текущие последовательные процессы как технического анализа, так и анализа рынка, а также разработка собственно проблемы.

Изменения, предполагаемые в процессе введения нового технического решения:

- граница раздела между научным открытием и его техническим применением (использование научно-технических достижений в технологии и технике);
- этап формулировки закладываемых в конструкцию принципов;
- решение о финансировании конкретного проекта при прохождении фазы проработки процесса введения научно-технического решения;
- решение о коммерческом производстве данного вида разработанной техники;
- анализ воздействия технического применения на экономические, социальные и др. сферы деятельности;
- роль и ответственность руководителей различного уровня.

В каждом из указанных процессов принимаются основополагающие решения. Кроме того, каждый из таких процессов связан с определенной долей риска как для разработчика, так и для всей организации.

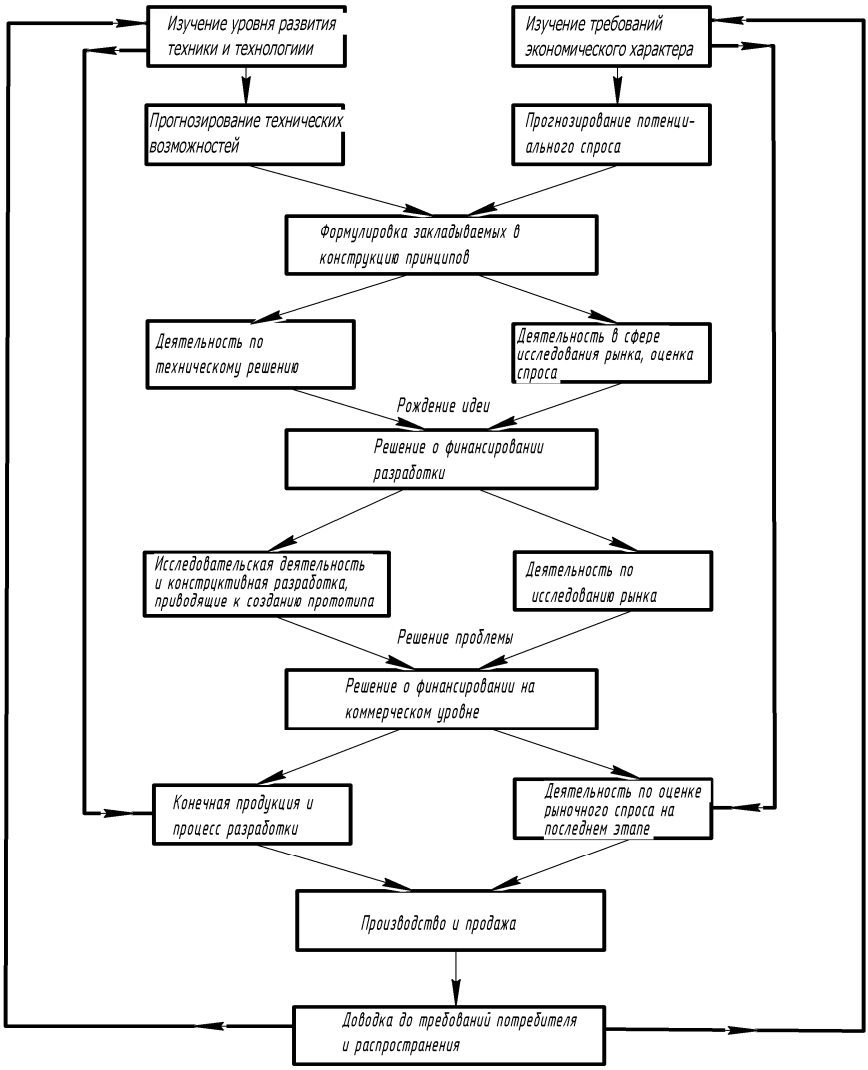


Рис.2. Процесс рождения и введения нового технического решения

Все научно-технические решения имеют тенденцию прийти к некоторой версии соответствующей модели, схема которой дана на рис.2. Во всех исследованиях имеется один тот же вывод о том, что от 2/3 до 3/4 всех успешно внедренных новых технических решений стимулировались информацией о требованиях рынка (признание роли потенциального спроса). Новые технические решения, возникающие в результате воздействия рынка, как правило, характеризуются высоким уровнем потребительских свойств, в то время как новые технические решения, получаемые в результате научных исследований, новизной технических идей [2, с.5].

Наиболее реальная модель научно-технического решения, по мнению многих ученых, является результатом логического расчленения всего процесса на отдельные, функциональные или структурные части, этапы, стадии в результате проведения и классификации научно-исследова-

тельских и опытно-конструкторских разработок. Это дает основу для организации ведения исследований и конструкторских разработок посредством более глубокого уяснения влияния научных, информационных и организационных факторов на процесс создания нового технического решения и его внедрения.

Модель процесса осуществления научно-технических нововведений в их связи с исследованиями, разработками, временем, целью и внешней средой представлена на рис.3 [7. С.34].

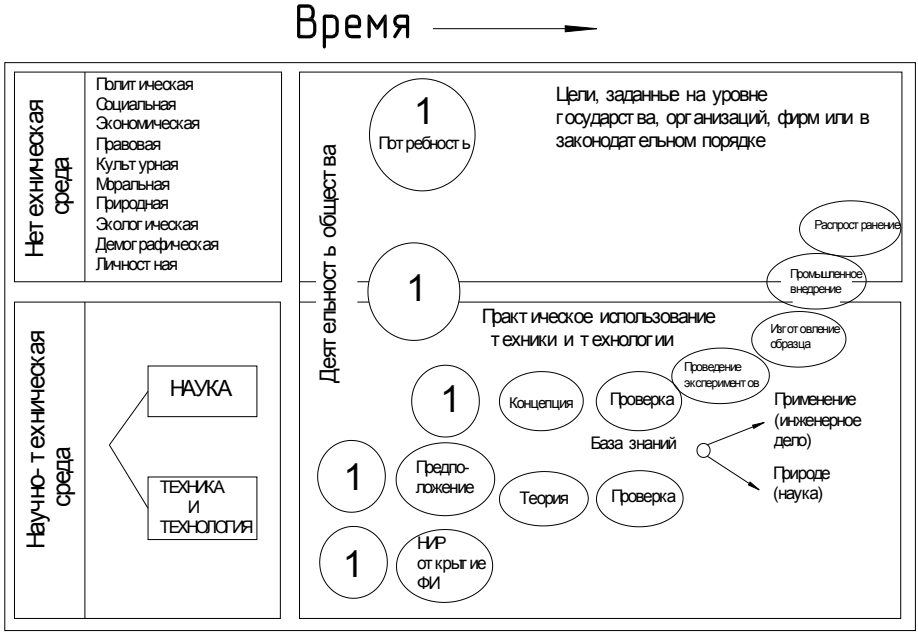


Рис.3. Схема этапов процесса осуществления научно-технического нововведения в их связи со временем и внешней средой

В отечественной и зарубежной экономической литературе встречаются различные трактовки таких категорий, как «новое техническое решение», «нововведение», «инновация», «новшество» и «новация». В некоторых случаях эти понятия используются в качестве синонимов, однако определенные различия между ними существуют.

В буквальном смысле «инновация» (от анг. innovation) переводится на русский язык как введение нового и означает процесс использования новшества или изобретения. Наиболее часто термин «инновация» связывают с наукой и техникой. П. Уайт обращает внимание, что важно различать понятие «изобретение» (конечный результат исследований) и «нововведение» (оно следует за изобретением и завершает успешные разработки). Изобретение подразумевает появление на свет чего-то нового, нововведение – внедрение изобретения в практику. При этом под «изобретением» понимается факт открытия новых методов и техники производства новых продуктов. Б. Твисс определяет нововведение как процесс, в котором изобретение или идея приобретают экономическое содержание.

Согласно международному стандарту *инновация* (нововведение) – это конечный результат творческой деятельности, получивший воплощение в виде новой или усовершенствованной продукции, реализуемой на рынке, либо нового или усовершенствованного процесса, используемого в практической деятельности [3. С.11].

В данной статье термин «нововведение», «новое техническое решение» относится к технике, технологии, действительно использованной или примененной впервые.

Инновации есть результат трансформации идей, исследований, разработок в новое или усовершенствованное научно-техническое или социально-экономическое решение, стремящееся к общественному признанию через использование его в практической деятельности людей.

Появление инновации имеет две отправных точки: потребность рынка, т.е. имеющийся спрос на определенный продукт (товар, услугу), и изобретательство (интеллектуальная деятельность) человека по созданию нового продукта, направленного на удовлетворение спроса, который, как правило, еще отсутствует на рынке, но может сформироваться с появлением этого нового продукта, т.е. фактически – это создание нового сегмента рынка.

Важно отличать инновацию (нововведение) от *новшества* и не смешивать эти два понятия.

Новшеством является результат фундаментальных, поисковых, прикладных исследований, разработок или экспериментальных работ в какой-либо сфере деятельности по повышению её эффективности. Новшества могут быть оформлены в виде: открытий, изобретений, патентов, товарных знаков, рационализаторских предложений, документации на новый или усовершенствованный продукт, технологию, управленческий или производственный процесс; организационной, производственной или другой структуры; ноу-хау; понятий; научных подходов или принципов; документов (стандарты, рекомендации, методички, инструкции и т.п.); результатов маркетинговых исследований и т.д. [3. С.7].

Новация (лат. novation) – изменение, обновление) представляет собой какое-то новшество, которого не было ранее. Термины «новшество» и «новация» - синонимы.

Э.А. Уткин правильно определил в работе "Управление фирмой" инновацию (нововведение) как объект, внедренный в производство в результате проведенного научного исследования или сделанного открытия, качественно отличный от предшествующего аналога.

Инновация может быть определена так, как Ж. Б. Сэй определил предпринимательство, т.е. как изменение отдачи ресурсов. Или, как сказал бы современный экономист, как изменения в ценности и удовлетворенности получаемых потребителем из используемых им ресурсов (или же нововведения в их использовании). В общем плане инновации - это обновление основного капитала или производимой продукции на основе внедрения достижений науки, техники, технологии как закономерный, объективный процесс совершенствования общественного производства.

Разработка новейшей высокоэффективной техники и технологии в настоящее время невозможна без постоянного, все более активного попол-

нения фонда научных и технических знаний, без возрастающего вложения средств для их получения.

Определяющее влияние на экономическое развитие и рост эффективности материального производства оказывает сегодня реализация научно-технических достижений в производстве. В данной связи большое значение приобретает совершенствование управления научно-техническим нововведением, т.е. процессами выработки новых научных и технических знаний, воплощения их в новой технике, технологии и материалах, использование последних в производстве с учетом их влияния на окружающую среду. Реализация крупных научно-технических нововведений требует в современных условиях значительны и долговременных финансовых вложений, непрерывного улучшения их материально-технического и организационного обеспечения.

Эффективность нововведений зависит не только от сроков материализации определенных научно-технических идей в той или иной технике или технологии, решающее значение имеет и насыщение потребности внутреннего и внешнего рынка в новой технике и технологии, что позволяет практически реализовать потенциальный эффект, заложенный в них. Если распространение прогрессивной техники и технологии затягивается на годы, то их потенциальный эффект может реализоваться только частично, а иногда и вовсе не реализоваться.

Для ускорения научно-технического прогресса важно, чтобы уже стадия фундаментальных исследований была ориентирована в возможно большей степени на решение задач, связанных с научно-техническими нововведениями.

Вернемся к рис.3, где выполнение каждой стадии обозначено определенными символами. Рассмотрим некоторые дополнительные моменты.

Научно-технические нововведения происходят в обширной внешней среде, которая состоит из многих субсред. Последние с целью упрощения сгруппированы в десять категорий (аспектов) [1. С.18]. Десять нетехнических аспектов внешней среды представлены в верхней части схемы для того, чтобы показать, что они присутствуют везде, и их воздействие распространяется на все времена и рассматриваемые виды деятельности.

Научно-технический элемент внешней среды показан в качестве основы, из которой проистекают технические аспекты научно-технического нововведения.

Каковы же стадии, которые мы могли бы использовать для создания, формирования, реализации, распространения и измерения темпа прогресса в возникновении нововведений? На этот вопрос можно ответить поразному, но для этого необходимо рассмотреть классификацию НИОКР, их сущность и факторы, влияющие на успех НИОКР и критерии их оценки.

Классификация научно-исследовательских опытно-конструкторских работ (НИОКР). Процесс создания научно-технической продукции (НТПр) основывается на системе классификации объектов исследования, в данном случае на классификации научно-исследовательских и опытно конструкторских разработок. Классификация работ, проводимых в научно-технических организациях, должна быть направлена на систематизацию и группирование их по ряду признаков с точки зрения единого методологического подхода к созданию нововведения. Необходимость проведения

классификации связана с многообразием НИОКР и особенностей их проведения, которые в свою очередь зависят от характера, сложности, новизны, важности решаемых проблем при исследовании и разработке, применением новых, не опробованных методов, наличия или отсутствия результатов ранее проведенных исследований, степенью их дальнейшего использования [6. С.11].

В основе создания нововведений должен быть положен единый принцип классификации НИОКР по определенному признаку и однородным группам, характеризующим конкретные виды работ, характер и их целевую направленность. При этом число уровней деления на однородные группы зависит от числа выбранных признаков классификации. При определении признаков для последовательного разбиения работ на группы могут быть приняты во внимание:

- существенный, определяющий характер этих признаков;
- признаки, определяющие структурную однообразность классификационных групп исследований и разработок;
- признаки характеризующие сложность процессов, исследований и разработок как объектов управления и экономического анализа;
- степень их влияния на методологию разработки продукта.

Кроме того, должны быть выполнены основные требования, предъявляемые к классификации:

- различные группы, подгруппы на каждом уровне должны быть независимы друг от друга;
- сопоставимость рассматриваемых групп на каждом последующем уровне должна быть целесообразной и однородной. Так, например, НИОКР в зависимости от их вида принципиально могут быть разбиты на подгруппы по разработке оборудования, устройств, стендов, технологии, техпроцесса, материалов, инструмента, спецоснастки и т.д.;
- рассматриваемые группы должны иметь более углубленную классификацию и отражать сущность НИОКР с выделением признаков, отвечающих поставленной цели;
- необходимость учета особенностей работ при анализе и оценке по определенным признакам.

Выполнение указанных требований при классификации работ является необходимым условием, обеспечивающим логическую стройность ее построения и, кроме того, предопределяет более правильный подход на выполнение НИОКР.

Классификация всей совокупности работ научно-исследовательских организаций может быть проведена по следующим признакам:

I-й уровень - по характеру решаемых задач;

II-й уровень - по видам работ;

III-й уровень - по видам техники и новых методов планирования и организации производства;

IV-й уровень - по основным технологическим направлениям развития;

V-й уровень - по функционально-видовому назначению.

Рассмотрим классификацию по указанным признакам [6. С.12].

На первом уровне классификации работы подразделяются по характеру решаемых задач на две группы:

1) научно-исследовательские работы;
2) опытно-конструкторские разработки.

На втором уровне все научно-исследовательские работы подразделяются по видам работ (целевому назначению и их признакам) на фундаментальные, поисковые, прикладные и опытно-конструкторские разработки. По методам проведения НИОКР могут быть разделены на: теоретические, экспериментальные и смешанные.

Классификация НИОКР по видам работ и целевому назначению характеризует каждый из вышеуказанных уровней, раскрывает общую направленность по своему содержанию, по методам их выполнения, по характеру требований, которые предъявляются к работам.

На третьем уровне возникает необходимость в дальнейшем делении групп работ по целевой направленности, связанных с решением конкретных проблем по научно-технической деятельности организаций, направленных на разработку принципиально нового технологического оборудования, технологии, материалов, контрольно-измерительного оборудования, технологической оснастки и инструмента, новых методов планирования и организации производства и т.д. В свою очередь каждая из этих групп работ может включать в себя различные по направленности работы.

Четвертый уровень предусматривает деление работ по целевой направленности, которое охватывает все разнообразие основных тематических видов работ.

Пятый уровень предусматривает классификацию по функционально - видовому назначению: создание устройств внешней памяти для персональных ЭВМ; технико-экономические исследования, результаты которых направлены на улучшение системы планирования и управления деятельностью научно-технической организации (НТОр) и т.д.

На начальном этапе исследований или разработки продукта не всегда возможно проведение столь подробной классификации, поэтому предлагается рассмотрение типовых этапов НИОКР с учетом специализации научно-исследовательских организаций.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы даже одной научно-технической организации, научного центра редко состоят из повторяющихся операций. Они могут быть разделены на крупные составляющие части - этапы и подэтапы, которые включают целый комплекс работ. Набор работ в отдельном этапе или подэтапе в момент заключения договора на решение какой-то научной проблемы и технического вопроса в достаточной мере может быть определен перечнем типовых этапов НИР и ОКР, приведенных в табл.1-3.

Таблица 1

Типовые этапы НИР (поисковой, прикладной)

Этап	Подэтап	Краткое наименование этапов работ
1	2	3
1-й этап		*Разработка планово-технической документации, выбор направления исследований, теоретические исследования*
	01	Разработка, согласование и утверждение планово-сметной документации
	02	Разработка методики выполнения работ. Разработка технических требований к технологическим процессам. Выполнение теоретических исследований и расчетов, выбор оптимального варианта
	03	
2-й этап		*Экспериментальные исследования*
	01	Разработка (или выбор) и изготовление лабораторной оснастки, макетов, оборудования и т.п.
	02	Проведение экспериментальной отработки технических решений
	03	Разработка техпроцесса для лабораторных условий
3-й этап		*Обобщение результатов НИР, отчет НИР*
	01	Анализ и обобщение результатов проведения работы
	02	Составление отчетной документации, написание отчета. Сдача работы

Таблица 2

Типовые этапы ОКР (разработка оборудования)

Этап	Подэтап	Краткое содержание (наименование этапов работ)
1-й этап		*Разработка планово-технической и рабочей документации*
	01	Разработка, согласование и утверждение планово-сметной документации.
	02	Разработка и изготовление макетов. Испытание макетов.
	03	Экспериментальные работы по определению параметров и режимов технологического процесса.
2-й этап		*Испытания разработанной технологии*
	01	Изготовление опытной партии изделий.
	02	Разработка программы и методики испытаний изделий на соответствие требованиям ТЗ
	03	Испытаний изделий на соответствие требованиям ТЗ (эксплуатационные испытания) Уточнение параметров технологического процесса
3-й этап		*Внедрение в эксплуатацию. Сдача ОКР*
	01	Проведение опытно-промышленной эксплуатации разработанной технологии
	02	Разработка промышленного техпроцесса
	03	Освоение разработанного техпроцесса
	04	Составление НТД
	05	Отработка промышленной технологии и оформление рабочей технологической документации
4-й этап		*Изготовление и приемка установочной серии. Сдача ОКР* Подготовка производства, изготовление установочной серии Приемка установочной серии Разработка план-графика по освоению разработанного технологического процесса предприятиями отрасли Составление НТД, разработка карты технического уровня. Сдача ОКР.

Таблица 3

Типовые этапы ОКР (разработка оборудования)

Этап	Подэтап	Краткое содержание (наименование этапов работ)
1-й этап		*Разработка планово-технической и рабочей документации*
	01	Разработка, согласование и утверждение планово-сметной документации
	02	Разработка ТЗ на конструкторские работы и проектирование систем управления
	03	Разработка, изготовление и испытание макетов
	04	Разработка принципиальных конструктивных решений
	05	Разработка принципиальных электрических схем
	06	Разработка рабочей конструкторской документации
2-й этап		*Изготовление и испытания технологического процесса и опытного образца*
	01	Изготовление узлов и блоков или опытного образца
	02	Отладка и лабораторные испытания опытного образца.
	03	Подготовка мероприятий по надежности
	04	Отработка отдельных узлов и блоков. Разработка программы и методики испытаний опытного образца
	05	Испытания разработанного техпроцесса с изготовлением опытной партии изделий
	06	Корректировка КД. Разработка проекта ТУ
3-й этап		*Внедрение в эксплуатацию*
	01	Проведение опытно-промышленной эксплуатации разработанного техпроцесса и оборудования
	02	Корректировка документации на оборудование по результатам опытной эксплуатации. Утверждение ТУ. Передача КД предприятию-изготовителю

Сущность, признаки исследований и разработок (ИиР) и их задача. Прежде всего следует выделить механизм, способствующий удовлетворению потребителя новым научно-техническим продуктом (НТПр), нацеленность НТОр на потребности в использовании достижений науки и техники, что и предопределяет возможность раскрытия содержания самого процесса ИиР на уровне НТОр. Во-вторых, указать его главную цель - интенсификация материального производства, а в третьих - основной, раскрываются главные пути достижения этой цели, проходящей через сферу ИиР [7. С.41].

Под исследованиями и разработками понимается:

во-первых, единство творческой, научной деятельности по получению новых знаний о природе и обществе, а также научно-техническая подготовка и организация реализации этих знаний в материальном производстве. Эта деятельность имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать в процессе организации и управления исследованиями и разработками. Прежде всего необходимо отметить, что она имеет творческий характер и направлена на проникновение в той или иной степени в неизвестные до сих пор области развития природы, техники, технологии, материалов или социальных отношений;

во-вторых, начало исследований и разработок всегда протекает в условиях неполной информации, количество и качество которой непрерывно увеличивается в процессе самой работы. Поэтому их эффективность в значительной степени определяется уровнем организации получения, накопления и переработки информации;

в-третьих, процесс ИиР обычно сопряжен с неопределенностью и известным риском. Риск имеет место в том случае, если при проработке теоретически неизвестной или не нашедшей до сих пор практического решения проблемы не может быть предсказан успех в решении поставленной задачи, что требует продолжения работы и решения данной научно-технической задачи.

Результаты процессов НИОКР признаются общественно необходимыми только в том случае, если они удовлетворяют ту или иную общественную потребность.

Основная задача научных исследований состоит в том, чтобы в возможно более короткий срок создать такой научный задел знаний в области науки и техники, который способствовал бы неуклонному и стабильному росту материального производства в течение длительного времени.

Закономерно, что ИиР начинаются с анализа как метода, позволяющего раскрыть причины и взаимосвязи в развитии техники и технологии, найти устойчивые закономерности их качественного улучшения. Анализ помогает правильно определить цель ИиР, а также пути и средства ее достижения. В качестве объекта анализа выступают технико-экономические и другие полезные свойства продукции, технология и издержки ее производства, цены, тенденции возрастания потребностей, другие параметры и связи. На основе всестороннего анализа обосновываются прогнозы и концепции основных направлений развития и разрабатываются планы исследований и разработок.

Факторы, влияющие на успех НИОКР и критерии их оценки. После классификации НИР и ОКР их однородные группы должны стать основой создания научно-технической продукции [6. С.15]. Для определения того, к какой группе принадлежит та или иная работа, необходима система оценочных показателей. При этом каждый вид НИОКР оценивается по своей системе показателей. Рассмотрим наиболее характерные для научно-исследовательских организаций виды исследований и разработок:

- фундаментальные исследования;
- поисковые, теоретические, экспериментальные и смешанные работы;
- прикладные научно-исследовательские работы;

опытно-конструкторские работы (разработки).

Рассмотрение стадий проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ позволяет наиболее полно раскрыть механизм создания, формирования и реализации научно-технических нововведений.

Многие научно-технические нововведения обнаруживают сходные тенденции развития. Если представить графически стадии проведенных исследований и разработок, то можно выделить основные фазы развития

научно-технического нововведения. Суммарная продолжительность этих стадий составляет срок жизни научно- технического нововведения.

К настоящему времени в экономической литературе в общем выработан единый подход к структуре научно-технического процесса. Под ней понимается рассмотрение стадий и этапов НИОКР, сменяющие друг друга – наука, техника, производство и потребление. В основе создания новшеств лежит фундаментальная наука.

Каково же содержание и сущность НИОКР, включающих важнейшие стадии исследований и разработок?

Результатами первой стадии цикла – «наука» является осуществление фундаментальных исследований. Их цель и результат – научные открытия, вновь познанные законы и категории, характеризующие устойчивые существенные связи между явлениями природы и общества.

Получение совокупности новых научных знаний, составляющих основу для возникновения других исследований, а также принципов и направлений их возможного использования в материальном производстве. Данные исследований определяются в первую очередь получением принципиально новых научно-технических знаний, направленных на создание научно-технического задела в области науки, техники и высоких технологий. Полученные знания становятся научным потенциалом технического прогресса, имеющим форму законченной теории, и является основой для последующего практического использования. Их содержание сводится к совокупности новых технических решений перспективного характера, определяющих долговременные тенденции и направления научно-технического прогресса.

Рассматриваемые на стадии фундаментальных исследований научно-технические решения образуются и существуют в следующих видах: научные открытия, изобретения, идеи, новые технические решения, что говорит о многообразии и их возможном дальнейшем использовании. Эффективность их использования определяется в первую очередь созданием условий для дальнейшего использования результатов фундаментальных исследований для проведения научно-исследовательских работ поискового и прикладного характера и опытно-конструкторских разработок [9. С.457].

Одним из примеров эффективного влияния научных открытий на создание научно-технических нововведений является открытие явления волновой локализации автотормозящихся твердофазных реакций (диплом № 287), сделанное специалистами института химической физики академии наук. Авторы экспериментально установили неизвестное ранее явление волновой локализации автотормозящихся твердофазных реакций, заключающейся в том, что химическое взаимодействие между твердыми дисперсными компонентами, происходящее без плавления и газификации реагентов и продуктов, после термического инициирования локализуется в зоне, самопроизвольно перемещающейся в пространстве в виде волны горения. Научное значение открытия состоит в том, что оно коренным образом изменило представления о механизме химического взаимодействия веществ при горении гетерогенных конденсированных систем. Впервые показана возможность протекания автотормозящихся реакций в самораспространяющемся режиме в виде волны горения. Открытие стимулировало

широкое развитие исследований безгазового горения, которое стало самостоятельным разделом науки о горении.

Практическое значение открытия заключается в использовании процессов горения для синтезов тугоплавких неорганических материалов. Результатом открытия явилось создание промышленного метода получения металлокерамических соединений. Этот метод, получивший название «самораспространяющийся высокотемпературный синтез» (СВС), защищен более 20 авторскими свидетельствами на изобретения, часть которых запатентована за рубежом.

В настоящее время методом СВС синтезировано около 300 простых и сложных соединений высокого качества, эффективно применяющихся в металлургии, машиностроении, электро и радиотехнике.

На основе открытия создан ряд технологических процессов, в которых непосредственно из продуктов горения получают готовые материалы и изделия, не требующие дальнейшей переработки и обладающие высокими эксплуатационными свойствами [7. С.57].

Это является подтверждением того, что процесс образования и реализации нововведений как экономической категории необходимо рассматривать, начиная с фундаментальных исследований. Данный процесс определяется в первую очередь получением принципиально новых научно-технических знаний, направленных на создание научно - технического задела в области науки и техники. Полученные знания становятся научным заделом, научным потенциалом научно - технического прогресса для его последующего практического использования.

Успех в области фундаментальных исследований обязательно приводит к образованию новых возможностей и их практической реализации в дальнейших разработках. В них проявляется переход от «чистой» науки к технике, а через последнюю к производству.

Развитие фундаментальных исследований оказывает определяющее воздействие на последующее проведение поисковых, прикладных и опытно конструкторских разработок [6, с.15] (табл.4).

Таблица 4

Классификация исследований и разработок

Виды работ	Наименование показателей оценки работы
НИР поисковые	Сложность Уровень важности Степень новизны
НИР прикладная	Сложность Уровень важности Степень новизны Научно-технический уровень Степень проработанности темы Степень использования результатов
ОКР (разработки)	Сложность Уровень важности Степень новизны Научно-технический уровень Степень использования результатов проводимых работ Выявление возможностей довести разработки до успешной коммерческой способности Уровень эффективности Числом поданных заявок на изобретения Числом публикаций и поданных на экспертизу технических отчетов

Сложность поисковых НИР определяется совокупностью задач, подлежащих решению. По этому признаку работы подразделяются на две группы.

В первую группу сложности включены работы, направленные на определение принципиальной возможности использования научно-технического нововведения по созданию нового продукта, метода и его возможного применения, новизны технического решения.

Ко второй группе сложности относятся поисковые НИР, направленные не только на реализацию возможности использования методов, но и выбор оптимальных параметров технологических процессов, технических средств, в том числе определение оптимальных характеристик рассматриваемых объектов (макетирование), оптимальных (заданных) характеристик новых продуктов, т.е. решение комплекса научно-технических задач. Таким образом, в поисковых работах закладывается фундамент для создания продуктов, необходимых для будущих радикальных изменений в рыночной обстановке, которые будут использованы в производстве и могут оказать значительное влияние на процессы создания изделий, техники, технологии, новых материалов.

При проведении НИР прикладного характера различают четыре категории сложности.

К первой категории относятся работы, включающие исследования и определение основных параметров технологических процессов, выбор, разработку и изготовление специальной оснастки и инструмента.

Ко второй категории сложности относятся работы, включающие разработку новых материалов, технологических процессов, технологии, проектирование или изготовление средств технологического оснащения, изготовление макета (или опытного образца) неавтоматизированного оборудования или контрольно-измерительного прибора.

К третьей категории сложности относятся работы, включающие исследования и разработку технологических процессов, проектирование и изготовление средств технического оснащения, автоматизированных контрольно-измерительных приборов, изготовление макета (либо экспериментального образца) автоматизированного оборудования.

К четвертой категории сложности относятся работы, включающие исследование и разработку новых материалов, технологических процессов, средств технического оснащения, изготовление макета (либо экспериментального образца) автоматизированного оборудования с микропроцессорным управлением или роботами.

Все указанные работы строго ориентированы на конкурентную технологию, технические принципы, оборудование, материалы, специализацию продукции или рынок. При проведении НИР прикладного характера трудно принимать решение на базе показателя «затраты-результаты», так как только в редких случаях можно связать затраты на НИР непосредственно с видимыми изменениями эффективности (прибыльности), поскольку динамика последней определяется проведением ОКР.

По сложности ОКР - разработки могут быть отнесены к четырем различным категориям. Чем ниже категория, тем более простые разработки, требующие соответственно затрат трудовых, материальных и финансовых.

К первой категории сложности относятся работы, включающие разработку и внедрение технологии, специальной оснастки и инструмента, подбор технологического оборудования, конструирование функциональных узлов.

Ко второй категории сложности относятся работы, содержащие разработку и внедрение новых материалов, технологии, технологической оснастки, инструмента и приспособлений, неавтоматизированного оборудования или стендов, а также работы по организации специализированных неавтоматизированных участков.

К третьей категории сложности относятся ОКР по разработке и внедрению новых материалов, средств технологического оснащения, автоматизированного оборудования (в т.ч. измерительного, регулировочного и испытательного), конструирование комплексной техники, а также работы по созданию автоматизированных участков.

К четвертой категории сложности относятся работы, содержащие разработку и внедрение технологии, автоматизированного оборудования с микропроцессорным управлением, роботизированных комплексов.

Влияние новых научно-технических решений на разработку конструкции и технологию разрабатываемого оборудования, технологических процессов, материалов значительно на данной стадии и важно. Ценным результатом можно считать разработку новых принципов экономически эффективных технологий и принципиально нового оборудования и возникающим благодаря им сфер экономической деятельности. Прежде всего ОКР имеют отношение к научно-техническим изменениям, которые реально могут произойти. Экономические результаты пока оцениваются возможностью снижения массы, материалоемкости, энергоемкости, трудоемкости, снижения затрат создаваемой технологии и техники.

Новизна НИОКР определяется за счет оригинального нововведения и выбора наилучшего момента для выхода на рынок и разделяется на три уровня (группы).

К первому уровню новизны НИОКР относятся работы по совершенствованию и заимствованию известных технологических решений.

Ко второму уровню - работы по созданию новых технологических процессов, методов, материалов, оборудования (на основе известных принципов).

К третьему уровню - работы по созданию принципиально новых технических решений, основанных на новых технических принципах и абсолютной новизне изобретения. Научно-технический уровень исследований и разработок характеризует степень совершенства технологии, технологических процессов, разрабатываемого оборудования, стендов, приспособлений и устройств по сравнению с лучшими зарубежными и отечественными аналогами. Высокая доля научных исследований в НИОКР приближает разработанный научно-технический продукт к зарубежному научно-техническому уровню. Если уровень науки и техники приближается к границе накопленных знаний, это радикально изменяет продукт, оказывает существенное влияние на его конкурентоспособность и научно-технический уровень [7. С.45].

На применение научно-технического продукта существенное влияние оказывают стоимость, длительность и трудоемкость НИОКР [6. С.18].

В стоимости НТПр учтены затраты на исследование, разработку, изготовление, выход на рынок, приобретение производственного опыта. При этом необходимо учитывать потребность в сопоставлении с небольшими объемами производства, пока мощность не достигнет запланированного уровня. Оценка потенциального применения проекта НИОКР и распространение информации коммерческого применения проекта находят свое отражение в дальнейших исследованиях рынка. Такие исследования помогут выяснить, на чем следует сосредоточить усилия. Они предусматривают постоянное изучение спроса на рынке сбыта и эксплуатационных показателей качества продукции, что обуславливает полную ориентацию производства на требования потребителей и рынок сбыта.

Другим примером эффективного использования научно-технических нововведений, по их видам, от стадии исследования, разработки и внедрения в производство является проведенная НИОКР «Технология». Данная работа направлена на исследование, разработку и внедрения комплексных и технологических процессов изготовления деталей накопителя на жёстких магнитных дисках типа винтов, втулок из чёрных и цветных металлов пластическим деформированием, выдавливанием, прокаткой профилей, высадкой с целью экономии производственных ресурсов предприятия.

Проведённая НИОКР отличается тем, что в работе, в достаточно короткие сроки, был осуществлён перевод изготовления более 20 наименований деталей с обработки металлов резанием на принципиально новые технологические процессы пластического формообразования, не применявшиеся ранее в отечественной и зарубежной практике для материалов и изделий данного типа.

Важной особенностью, представляющей дополнительные трудности и сложности при внедрении новых технологий в период выполнения разработки, является создание впервые комплексных технологических процессов на основе последовательного или совмещенного использования различных методов ОМД, а также отсутствие необходимого отечественного оборудования и апробированного специнструмента. Это потребовало выполнения целого цикла работ: практически от стадий исследований и экспериментальной проверки, отработки новых технологий, оборудования и инструмента и до серийного выпуска опытных партий деталей по каждому конкретному технологическому процессу [4. С.159].

В качестве примера количественного определения возможностей научно-технического решения на стадии ОКР является перевод деталей с механообработки на изготовление деталей методом порошковой металлургии. При изготовлении определенной номенклатуры в базовом варианте используется металлорежущее оборудование, что требует значительно больших материальных, энергетических и трудовых затрат. В новом варианте меняется как технология изготовления деталей, так и применяемое оборудование, технологические процессы. Применение нового метода выявило возможности экономии общественного труда, а следовательно, развития производства более экономичными методами и с наименьшими затратами. Реализация нововведений позволяет судить об их измерении и величине.

Величина эффективности нововведений определяется путём их расчёта на машинокомплект (ед. изделия, на деталь) до и после внедрения

нововведения. Чтобы установить общую экономию об использовании всех видов нововведений для каждого наименования деталей, необходимо найденные величины на ед. изделия умножить на их количество по производственной программе. Так, например, перевод детали «диск» с обработки резанием на обработку порошковой металлургией на программу 1000 шт. деталей даёт возможность снизить трудоёмкость на 63% и повысить КИМ с 0,15 до 0,29%; снизить технологическую себестоимость изготовления на 90,3%. Следовательно, при изготовлении диска резерв снижения трудоёмкости составит 751н/час; резерв использования металла 0,77%; резерв снижения себестоимости 3010 тыс. руб.; экономический эффект от реализации нововведений по данной номенклатуре деталей составил 3352,5 тыс. руб. Экономический эффект, полученный в результате внедрения НИОКР, может быть определён исходя из роста объёма производства, от снижения трудоёмкости и себестоимости, изменения цен на изделия с более высокими потребительскими свойствами, прибылью.

Задача ускорения научно-технического прогресса и повышения эффективности производства требует использования всех новых возможностей развития и роста производства, основанных на использовании научно-технических нововведений.

Выводы. Таким образом, процесс осуществления научно-технических нововведений охватывает цикл отработки научно-технических идей, проходя стадии НИОКР до их реализации заказчику, или на коммерческой основе на рынке, ибо инновации ориентированы на рынок, на конкретного потребителя или потребность. При этом реализацию нововведений следует считать окончательной только в том случае, если новое изделие как потребительная стоимость полностью оправдает себя в производстве или потреблении, а его изготовление окажется экономически эффективным. Именно такой подход к реализации нововведений обеспечивает комплексную систему возникновения, использования нововведений и непосредственно рассматривается с появлением новых возможностей повышения эффективности производства. Представляется, что процесс возникновения, формирования и использования нововведений можно представить в виде цикла «исследование – разработка – опытный образец – освоение – внедрение в производство – эксплуатация», а элементы этого цикла как отдельные взаимосвязанные стадии рассмотрения и возникновения нововведений. Каждая из стадий цикла обладает определенной самостоятельностью, определенными закономерностями развития, выполняет свою роль в возникновении, создании, формировании и реализации нововведений.

Библиографический список

1. Брайт Дж.Р. Руководство по научно-техническому прогнозированию; пер. с англ. / Дж.Р. Брайт. – М.: Изд-во «Прогресс», 1977. – 349 с.

2. Гоулдхар Ж.Д. Влияние информационных и организационных факторов на процесс введения новых технических решений; пер. с англ. – М.: ВЦП А-10787, 1977. – 57 с.

3. Управление инновационными проектами: учеб. пособие; под ред. проф. В.Л. Попова. – М.: ИНФАА – М, 2007. – 336 с.

4. Хащин С.М. К вопросу о влиянии резервов НИОКР на технико-экономические показатели произвадства. // Совершенствование вибрационной технологии и оборудования: меж. вуз. сб. науч. тр. / С.М. Хащин, М.В. Лодзина, В.И. Глущенко. / РИСХМ. – Ростов н/Д, 1988. – 171 с.

5. Хащин С.М. Резервы повышения эффективности производства на стадии научно-исследовательских работ. Хозрасчетный механизм ускорения научно-технического прогресса: меж. вуз. сб. науч. тр. / С.М. Хащин. РИСХМ. – Ростов н/Д, 1989. – 125 с.

6. Хащин С.М. Вопросы разработки нормативов затрат на научно-исследовательские и опытно конструкторские работы в отраслевых НИИ и КБ – в помощь лектору, специалисту / С.М. Хащин, М.В. Лодзина, В.И. Глущенко. – Ростов н/Д, 1989. – 29 с.

7. Хащин С.М. Рынок научно-технической продукции: учеб. пособие. / С.М. Хащин, В.П. Герасименко. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1999. – 120 с.

8. Сафронов А.Е. К вопросу об управлении инвестиционными проектами организационного развития. / А.Е. Сафронов, С.М. Хащин, А.М. Косицкий.//Научно-образовательный и прикладной журнал. – 2006. – №5(24).

9. Хащин С.М. Теоретические аспекты на концепцию осуществления научно-технических нововведений, их виды и оценка научной продукции: материалы Междунар. науч.-практ. конф. 3-6 марта / С.М. Хащин, В.В. Калугина, А.В. Дафт. – Ростов н/Д: «Интерагромаш – 2009». – 520 с.

Материал поступил в редакцию 4.05.09.

S.M.HASHIN, A.E.SAFRONOV, V.V.KALUGINA

CONCEPTUAL SPECIFICS AND PRACTICAL ASPECTS OF EFFECTIVE ORGANIZATION OF SCIENTIFIC-TECHNICAL NOVATION IMPLEMENTION PROCESS

This article discloses the mechanism of creation, formation and realization of new scientific - and - technical innovations. They have an impact on size of economic effect from realization of new innovations.

ХАЩИН Станислав Матвеевич (р. 1940), доцент (2000) кафедры «Инженерная экономика и маркетинг» ДГТУ. Окончил РИСХМ (1968).
Область научных интересов: инновационно-инвестиционная деятельность.
Количество публикаций 45.

САФРОНОВ Андрей Евгеньевич (р. 1972), доцент (2001) кафедры «Инженерная экономика и маркетинг», кандидат экономических наук. Окончил РГАСХМ (1999).
Область интересов: управление качеством.
Количество публикаций 42.

КАЛУГИНА Вера Владимировна, ассистент кафедры «Графика и начертательная геометрия». Окончила Донской государственный технический университет (2008).
Область интересов: технологии и технологические средства мукомольных предприятий.
Количество публикаций 4.

rgashm@mail.ru

УДК 94(470.61)

С.Г. ВОСКОБОЙНИКОВ

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ И РЕФОРМЫ НАЧАЛА XIX ВЕКА НА ДОНУ

В статье рассматриваются социально-экономическая ситуация на Дону, сложившаяся к началу XIX века, а также реформы, проводимые российским правительством и атаманом М.И. Платовым в период с 1802 по 1804 годы.
Ключевые слова: *реформы, преобразования, социально-экономическая ситуация, система управления.*

Введение. Донские казачьи полки постоянно участвовали в военных действиях, которые вела Россия в XVIII – начале XIX вв. За свою службу они нередко получали похвальные отзывы великих русских полководцев П.А. Румянцева, А.В. Суворова и других, но были и отрицательные мнения.

В глазах военных специалистов «прусской школы», ценивших выше боеспособности выправку и стройность рядов, казаки, не имевшие однообразного вооружения, сражавшиеся по правилам собственной «степной» тактики, казались толпой варваров. У таких «стратегов» возникали сомнения в пользе существования казачьих войск. Кроме того, например, князь А.Б. Куракин, считал, что войско Донское в начале XIX века уже не выполняло своих функций – пограничного заслона и предлагал постепенно сближать формы его внутреннего управления с общероссийскими [14].

Однако высокая доблесть, которую казаки постоянно демонстрировали в сражениях, разведке, на аванпостах и т.д. говорила сама за себя. Немаловажным было и то, что казачьи полки комплектовались из людей, с детских лет готовившихся к военной службе, вооружавшихся и снаряжавшихся за свой счет, а жалованье получали лишь в том случае, если служба проходила на расстоянии более 100 верст от дома.

В условиях многочисленных войн конца XVIII – начала XIX веков нужно было быстро пополнять ряды армии. А как показала жизнь, своевременно и сравнительно дешево для государства создавались только казачьи полки в отличие от новых регулярных частей армии.

Постановка проблемы. К началу XIX века жизнь на Дону существенно изменилась. Граница с Турцией отодвинулась к р. Кубань, набеги татар и ногайцев прекратились, что позволило начать хозяйственное освоение Донского края. На протяжении всего XVIII века казачество постепенно превращалось из вольного народа в военно-служилое сословие, осваивая мирные занятия. Российское правительство было заинтересовано в том, чтобы перевести казаков на самообеспечение продовольствием при сохранении боеспособности.

Таким образом, нужны были реформы, которые приспособили бы донское казачество к новым условиям жизни и службы, сделали бы казаков верными престолу, окончательно оборвав нити, связывавшие их с другими слоями населения. Проводимые реформы должны были решить в интересах войсковой старшины вопросы комплектования и снаряжения донских полков и в то же время навести порядок в использовании войсковых земель, повысить авторитет Войскового Атамана как представителя центральной власти.

Социально-экономическое положение, содержание и направленность реформ стали предметом исследования в предложенной вашему вниманию статье.

Методы исследования. Данное историческое исследование проведено с использованием так называемой синхронии, когда изучаемый объект рассматривается в пространстве и во времени в качестве системы со своей структурой и функциями на основе принципа историзма. Для этого были применены специально-исторические методы: историко-генетический, проблемно-хронологический и сравнительно-исторический.

Использование *историко-генетического метода* было направлено на последовательное раскрытие изменений исторической реальности конца XVIII – начала XIX веков, на выявление причинно-следственных связей. Метод дал возможность, обобщив фактический материал, показать индивидуальность и конкретность предмета исследования.

Проблемно-хронологический метод способствовал объективному моделированию исторической действительности, разделив ее на ряд проблем, каждая из которых рассматривалась в хронологической последовательности

Сравнительно-исторический метод позволил, систематизируя факты, выявить отличительные особенности исторических событий, происходивших на Дону в начале XIX века.

Социально-экономическая ситуация на Дону начала XIX в. Инженер-гидротехник А.Л. де Романо, внимательно изучавший не только природные условия, но и жизнь казаков, впоследствии ставший офицером генерального штаба наполеоновской армии, отмечал громадную пропасть между богатыми и бедными казаками. Он вспоминал, что донское казачество угнетено бедностью, тогда как богатство сосредоточено в руках нескольких десятков старшинских родов.

Богатых казаков А.Л. де Романо поделил на три группы. Самыми знатными и состоятельными семьями являлись: Мартыновы, Орловы-Денисовы, Ефремовы, Платовы, Иловайские, Исаевы, Леоновы, Красновы, Серебряковы, Луковкины, Кумшацкие, Машлыкины, Орловы, Кирсановы, Курнаковы, Краснощековы. Вторую группу составляют: Мелентьевы, Грековы, Ханженковы, Поздеевы, Кутейниковы, Бобриковы, Дъячкины, Кульбаковы, Яновы, Гребцовы, Родионовы, Фроловы, Харитоновы, Карповы, Селивановы, Барабанщиковы, Малчевские, Поповы, Сулины. В третью по состоятельности группу входили: Астаховы, Туроверовы, Слюсаревы, Агеевы и другие. Именно этим группам принадлежали 70 тысяч крестьян, лучшие земли и самые выгодные рыболовные места, табуны, пастбища [16]. С другой стороны находились живущие в вечной нужде простые казаки и даже часть офицеров. А.Л. де Романо сообщает, что в рыбачьих ватагах, нанимаемых хозяевами для вытаскивания из воды сетей с рыбой, нередко можно встретить казачьих офицеров, например, один майор был в числе работников у урядника, владельца невода [16]. Далее А.Л. де-Романо рассуждает, что ничем другим заработать на жизнь бедный офицер в мирное время не мог, так как на Дону в то время не было промышленности, а наука и искусство не были востребованы.

На наш взгляд, косвенно подтверждает наблюдения А.Л. де Романо документ, хранящийся в ГАРО (Государственный архив Ростовской облас-

ти), в котором говорится, что есаул Самохин просит вместо золотой сабли с надписью «За Храбрость» пожаловать ему денег [1]. Видимо финансовое положение в семье Самохина было очень тяжелым.

Средства к существованию для большинства донцов давало военное ремесло. После 3-летней действительной службы казаки пользовались 3-летней льготой (отпуском). Находящихся на очередной льготе генералов и офицеров могли назначить на службу и до истечения срока отпуска, но вакантных мест было мало. В течение срока льготы никто жалованья не получал, поэтому бедность или расчетливость заставляли офицеров, только что вернувшихся с действительной службы и не имеющих крестьян или другого имущества, приносящего доход, просить атамана о новом назначении, чтобы получать жалование. Простые казаки из-за бедности нанимались служить за других, например, за торговых казаков. Спустя три года полевой службы, многие казаки возвращались домой со значительными суммами (у офицеров до нескольких тысяч рублей). Беднели лишь те, кто находился на льготе. Поэтому для казаков служба не была обременительной повинностью, а хорошей возможностью поправить свое имущественное положение.

В массовом сознании тех лет грабежи населения во время военных действий всегда ассоциировались с казаками. Справедливости ради надо сказать, что грабежами на войне занимались не только казаки. Это явление, к сожалению, распространено во всех армиях мира, оно столь же характерно для войны, как и убийство. Одной из причин грабежей для казаков была несвоевременная выплата жалованья и фуражных денег. Например, целый ряд документов, хранящихся в ГАРО, свидетельствует о том, что это было делом вполне обычным [2- 5] и приводило к еще большему обнищанию казаков. Чтобы поправить свои финансовые дела, казаки захватывали имущество противника и местного населения, т.е. использовали любой случай для обогащения.

К причинам бедственного положения казаков в начале XIX века можно отнести также и неумение рачительно вести хозяйство. А.Л. де Романо писал, что в 1802 году был сильнейший падеж скота из-за гололедицы, а запасти сено впрок многие не соизволили [16]. Или о том, что в начале лета на Дону изобилие рыбы, тарань продают по 10 копеек за 1 тысячу штук, а вот в конце лета рыбу купить непросто. Лишь в низовьях Дона стали создавать бассейны для рыбы, но и это не избавило от дефицита в этом, казалось бы, привычном для Донского края продукте [16].

Характеризуя положение в войске Донском, А.Л. де Романо писал: «Не входя в рассуждение о зле олигархии вообще, по отношению к Дону следовало бы держаться закона Петра I, который предоставил в общее пользование все угодья. Если бы последние периодически разделялись между казаками сообразно с заслугами каждого и по числу членов в семье, масса донского населения, эта соль, этот нерв казачества, благословила бы правительство, а при другой администрации, при назначении людей просвещенных, почетных, твердых непоколебимых, область переродилась бы и достигла бы благосостояния, от которого теперь она еще далека. Все зависит от несправедливого распределения, от общественных здешних порядков. Об общественном благе здесь не заботятся, добродетель в загоне и пренебрежении; доверие, оказываемое некоторым, их богатства, власть,

страсти – все это в ущерб общему благосостоянию, все это только порождает бедностью других» [16]. Добавим только, что А.Л. де Романо составил свое описание в 1802 году, когда М.И. Платов пробыл Войсковым Атаманом всего год и не все успел исправить за время своего атаманства. Да и бороться со всей донской знатью он не мог, поскольку сам являлся ее частью. Лишь наиболее опасных противников он старался нейтрализовать, но при этом не доносами, а отстраняя от должностей и ставя своих людей на ответственные посты. Войсковой Атаман имел мощный рычаг давления на донскую старшину, ведь от него зависела раздача в собственность свободных земельных угодий. Дело в том, что в начале XIX века Сенат строго придерживался закона Петра I, утверждавшего общинное землепользование и земледелие на Дону. Поэтому Войсковой Атаман, раздав донским помещикам Войсковые земли или подтвердив их владение этими угодьями на протяжении жизни нескольких поколений, мог в любой момент отобрать эту ценность. Тогда принадлежавшие любому «арендатору» - помещику крестьяне могли перейти к другому владельцу, т.е. приписаны были к земле. Это был эффективный способ расправы Атамана со своими противниками.

Надо сказать, что все Войсковые Атаманы использовали свое положение для умножения имущества своих семей. Не случайно в первом десятке самых богатых донских родов находились: Мартыновы, Орловы-Денисовы, Иловайские и Платовы.

Земельные реформы на Дону. В 1804 году было составлено постановление общего собрания Правительствующего Сената, направленное к устранению злоупотреблений в землепользовании казаков вследствие захвата Войсковых земель Войсковыми чиновниками и заселения их обращенными в 1796 году в крепостную зависимость малороссиянами. В этом постановлении определялся отвод дополнительных наделов малоземельным станицам, с указанием порядка устройства хуторов, размера земельного надела для поместных чиновников – 20 десятин на каждую записанную за офицером ревизскую душу [18]; причем принадлежавших донским дворянам крестьян, поселенных внутри станичных юртов, планировалось переселить на свободные земли, а крестьян, числившихся за станицами, перевести в казачье сословие.

Отведенные на крестьян земли, а также и поселенных на них крестьян запрещалось отчуждать кому-либо, кроме донских офицеров, получивших права дворянства. За эту землю они должны были платить ежегодный сбор в пользу Войска по 4 копейки с десятины. Перевод крестьян на Дон, купленных в других губерниях, предполагалось разрешить, но отвод для них Войсковых земель запрещался. Для обеспечения беспоместных дворян предполагалось установить отвод земельных участков в пожизненное пользование, а Войсковому начальству поручалось определить размер этих наделов.

Рыболовные места в реках и в Таганрогском заливе оставались в общем использовании Войска, отвод их в исключительное пользование отдельным лицам или чиновникам запрещался.

Эти решения Сената вместе с заключением Войскового начальства были внесены на рассмотрение Государственного Совета, но из-за начавшихся в то время работ по составлению нового Войскового положения бы-

ли приостановлены и утверждения не получили. Впоследствии же они почти полностью вошли в «Положение о Донском войске» 1835 года.

Преобразования в положении торговых казаков и в военной службе. Важным для развития торговли на Дону имело состоявшееся в 1804 году учреждение особой категории – торговых казаков. Все донские казаки имели право беспошлинной торговли в Войске, причем до 1802 года казаки, занимавшиеся этим промыслом, в случае наряда на службу обычно выставляли за себя других, заключив с ними сделку. Из-за возникавших при этом злоупотреблений было Высочайше поручено Войсковому Атаману принять меры против этих злоупотреблений и позаботиться «о неукоснительном соблюдении очереди в наряд казаков на службу, не допуская замены богатых бедными». В том же году Войсковой Атаман составил проект, в котором, указывая на необходимость развития в Войске Донском торговли, предложил освободить от службы казаков, занимающихся этим делом. При этом он предлагал взимать с таких казаков особый сбор – по 100 рублей за каждый год освобождения от службы, а деньги, вырученные при этом, использовать на снаряжение неимущих казаков.

Высочайшим рескриптом в 1802 году предложения М.И. Платова были одобрены, но при этом атаману было заявлено, что он должен определить число торговых казаков и образовать из них особое сословие, освобожденное от службы, в котором казаки могли бы состоять до тех пор, пока будут платить сторублевый ежегодный сбор. Такой оборот Матвея Ивановича не устраивал. В 1804 году он вновь вышел с представлением проекта, в котором указывал, что определить число торговых казаков и создавать из них особое сословие нельзя, так как все казаки имеют право заниматься торговлей, а с учреждением из торговых казаков особого сословия они утратят связь с остальными казаками. Чтобы этого не произошло, М.И. Платов предлагал лиц, занимавшихся торговлей и предпринимательством, освобождать от очередной службы, взимая за каждый год нахождения на службе тех полков, в состав которых они входили, по 100 рублей. Эти деньги направлялись на нужды полка, например, на покупку для бедных казаков строевых лошадей (обычная цена верховой лошади в то время составляла от 40 до 80 рублей) [16]. Кстати, самый многочисленный табун (4 тысячи голов) был именно у М.И. Платова. Кроме него крупными конезаводчиками были Ефремовы, Краснощековы, Иловайские, Мартыновы, Красновы, Орловы-Денисовы.

Все предложения М.И. Платова, относительно торговых казаков были Высочайше утверждены 1 сентября 1804 года.

Идя навстречу вышеизложенным пожеланиям, М.И. Платов убедил российское правительство в необходимости преобразований в сфере военной службы казачества. Штатная численность в казачьих полках увеличилась с 500 до 578 человек, Атаманский полк имел одну тыс. человек, в лейб-гвардии казачьем полку проходили службу более 300 донцов. Количество донских казачьих полков возросло до 80. При этом свободных офицерских вакансий почти не было. В 1811 году Войско Донское едва набирало пополнение для полков, несших службу от Финляндии до Кавказских гор. Обычно вместо штатной численности в казачьем полку находилось от 200 до 300 человек.

Делались попытки вооружить казаков единообразным стрелковым оружием, но для выполнения этого заказа в государственной казне не оказалось денег. Однако удалось ввести одинаковую форму одежды синего цвета с красными лампасами (в Атаманском полку с лазоревыми лампасами). И что более важно, были созданы две, а затем и третья конно-артиллерийские батареи по 12 орудий в каждой что, безусловно, усилило боеспособность казачьей кавалерии.

Реформирование системы управления Войском Донским. Система управления Войском Донским также подверглась реформированию. Высшее управление казачьими войсками, и в частности Войском Донским, со времен Петра I осуществлялось сначала через Посольский приказ, затем через коллегию Иностранных дел и, наконец, с 1721 года через Военную коллегию [6], а гражданские дела обсуждались в Сенате [15, 17]. Императрицы и императоры, вступая на престол, подтверждали права и привилегии казачества высочайшими манифестами, указами и грамотами, которые присылались на Дон [7].

Рубеж XVIII – XIX вв. стал как для России, так и для Войска Донского, временем реформ. Сначала Павел I Указом от 6 июля 1797 года отменил Войсковое гражданское правительство [7]. Затем Указом от 22 сентября 1798 года был завершен процесс, начавшийся с 1738 года, т.е. признание за всеми казачьими офицерами прав на дворянство [8]. Впоследствии изменения коснулись органов власти, управления, прокуратуры, комплектования, вооружения, снабжения и обмундирования казачьих войск [7, 8, 9].

В связи с изменениями, главное местное управление на Дону осуществляли Войсковой Атаман и Войсковая канцелярия. При Атамане для поручений находились два Войсковых есаула, избиравшихся Войсковым Кругом на один год. В канцелярии, кроме председательствовавшего в ней Атамана, двух представителей от войска и Войскового прокурора, определено было присутствовать еще тем лицам, которых назначит император. Указами от 6 сентября и 8 октября 1800 года при Войсковой канцелярии учреждались шесть экспедиций: 1) криминальная; 2) гражданская; 3) казенная; 4) межевая; 5) полиция города Новочеркасска (после 1805 года); 6) сыскного начальства [9].

Исполнительными органами служили шесть сыскных окружных начальств, подчиненных Атаману и Войсковой канцелярии, они возглавлялись войсковыми старшинами. Сыскные начальства выполняли полицейские обязанности и ведали земскими повинностями, кроме того, они были низшей судебной инстанцией.

Станичное управление осуществляли станичные атаманы и их помощники или «старшины», избиравшиеся станичным населением из своей среды. Обязанности их определялись «Наставлением станицам» – инструкцией, утвержденной в 1797 году Войсковым Атаманом В.П. Орловым, а также предписаниями Войсковой канцелярии, действовавшей через сыскные начальства.

Правление Александра I началось с давно назревших реформ центрального управления империей; они же затронули организацию и руководство Войском Донским. Согласно манифесту от 8 сентября 1802 года [10] об образовании министерств, Военная коллегия сохраняла свое существование и устройство, но лишь в виде учреждения, подчиненного Министер-

ству Сухопутных Сил и служившего ему исполнительным органом. Поэтому управление казачьими войсками осуществлялось по-прежнему через казачью экспедицию Военной коллегии, но теперь уже Военного министерства [12]. Такой порядок действовал до 1812 года, когда после ликвидации Военной коллегии Войском Донским стал заниматься инспекторский департамент Военного министерства [13].

Кроме Военного министерства, важную роль в управлении войском Донским играло Министерство Внутренних дел. В те времена оно не только отвечало за правопорядок, но и занималось административно-хозяйственной деятельностью, так как в его распоряжении находились местные административно-полицейские учреждения и сословные органы [10].

По Указу от 6 февраля 1804 года [11] состоявшие при Военной канцелярии экспедиции были упразднены (за исключением полицейской, которая под названием «Управа Благочиния» стала напрямую подчиняться Войсковому Атаману), а вместо них образованы три новые:

1) воинская, ведавшая военно-уголовными делами;

2) гражданская, занимавшаяся делами имущественного характера (тяжебными), следственными и уголовными, межевыми и земской полиции;

3) экономическая, занимавшаяся войсковыми финансами, приходом и расходом войсковых сумм, откупами и т.п.

Окружные сыскные начальства взяли на себя обязанности уездных и нижних земских судов, при этом жалобы на них могли подаваться в Войсковую канцелярию.

Штат Войсковой канцелярии в 1804 году был дополнен должностями: казначея, землемера, архитектора, комиссаров для наблюдения за войсковыми магазинами и нарядом почтовых лошадей.

Воинская экспедиция вверена была Войсковому Атаману, гражданская и экономическая – одному из постоянных членов Войсковой канцелярии и одному из асессоров. Дела по гражданской и экономической экспедиции докладывались Войсковой канцелярии, где решались большинством голосов. Войсковой Атаман мог созвать особое совещание из лиц, руководивших гражданской и экономической экспедициями для решения дел войсковой экспедиции.

Все дела имущественные, межевые, земской полиции должны были поступать в Войсковую канцелярию лишь после рассмотрения их в сыскных начальствах как первой инстанции уездного и земского судов; кроме того, каждое имущественное дело подлежало сначала рассмотрению посреднического и третейского судов. Дела земской полиции должны были разрешаться на основании общих постановлений и по делам этим, а также по всем вообще вопросам, относящимся к гражданскому благоустройству, Войсковой Атаман должен был советоваться с министром внутренних дел на общем основании.

В Новочеркасске учреждалась полиция под управлением полицмейстера на правах городничего, с подчиненными ему приставами и надзирателями.

Должности постоянных членов, асессоров, казначея Войсковой канцелярии, а также членов сыскных начальств решено было менять по выбору войскового общества, при этом кандидатуры избранных на должности представлялись на Высочайшее утверждение, а на должности членов

сыскных начальств представлялись на утверждение Войсковой канцелярии. Об избранных на должности асессоров сообщалось в Сенат. Полицмейстер утверждался Сенатом по представлению Войскового Атамана через министра внутренних дел.

Вообще же реформы начала XIX века были направлены на замену коллегиального принципа управления единоначалием. Донской край не стал исключением из правила. Превратив Войскового атамана в надёжного проводника своей политики, правительство всемерно усиливало его власть как над знатными, так и над простыми казаками. Атаман мог отнять у знатного казака земли, так как формально последний выступал в качестве не владельца, а арендатора войсковых земель. В распоряжении Войскового Атамана находился особый Атаманский полк. Все нити управления Войском Донским были сосредоточены в руках атамана и подконтрольной ему Войсковой канцелярии. Войсковая канцелярия, имея специальные подразделения, описанные выше, решала не только военные, но и гражданские вопросы.

Кроме вышеназванных изменений, в 1802 году произошло административно-территориальное деление земель Войска Донского на 7 округов: Черкасский, Первый Донской, Второй Донской, Усть-Медведицкий, Хоперский, Донецкий, Миусский.

Выводы. Таким образом, рубеж XVIII – XIX веков был для донских казаков временем реформ. Правительство ставило своей целью уничтожение традиций самоуправления и стремилось приблизить внутреннее устройство Войска Донского к общегосударственным порядкам. В ходе проведения реформ на Дону российское правительство попыталось разрешить сразу несколько насущных проблем, назревших к началу XIX века:

во-первых, были приняты меры для улучшения благосостояния некоторых слоёв донского казачества;

во-вторых, были проведены необходимые преобразования в сфере военной службы казачества и в положении торговых казаков;

в-третьих, была подвергнута реформированию система управления Войском Донским.

Библиографический список

1. ГАРО, Ф. 46, Оп. 1, Д 252. // Журнал исходящих документов атаманской канцелярии, № 7118, от 21 августа 1811 года.

2. ГАРО, Ф. 46, Оп. 1, Д. 241, №/№ документов 13, 132, 211, 329.

3. ГАРО, Ф. 46, Оп. 1, Д. 247, №/№ документов 933, 966, 1034, 1349, 1777.

4. ГАРО, Ф. 46, Оп. 1, Д. 251, №/№ документов 3877, 3878, 3879, 3881, 3882, 3883.

5. ГАРО, Ф. 46, Оп. 1, Д. 253, № документа 9926.

6. I ПСЗ. Полное собрание законов российской империи. (Собрание первое) Т. V. № 3472; Т. VI № 3750.

7. I ПСЗ. Полное собрание законов российской империи. (Собрание первое) Т. XXIV,№/№ документов 17638, 18239.

8. I ПСЗ. Полное собрание законов российской империи. (Собрание первое) Т. XXV. №/№ документов 18773, 19272.

9. I ПСЗ. Полное собрание законов российской империи. (Собрание первое) Т. XXVI. №/№ документов 19547, 19591 ,19947,

10. I ПСЗ. Полное собрание законов российской империи. (Собрание первое) Т. XXVII. № 20406.

11. I ПСЗ. Полное собрание законов российской империи. (Собрание первое) Т. XXVIII. № 21142.

12. I ПСЗ. Полное собрание законов российской империи. (Собрание первое) Т. XXX. №/№ документов 22756, 22776.

13. I ПСЗ. Полное собрание законов российской империи. (Собрание первое) Т. XXXII. №/№ документов 348, 24971.

14. Агафонов А.И. История Донского края (XVI – первая половина XIX века. Исторические источники и их изучение) / А.И. Агафонов. – Ростов н/Д: Изд-во «Приазовский край», 2001.

15. Высшие и центральные государственные учреждения России 1801 – 1917. Т. I. Высшие государственные учреждения. – М., 1998.

16. Донская старина. Черкасск и Войско Донское в 1802 году, по описанию А.Л. де Романо; сост.: М. Калмыков. Издание Ив. Ст. Киевского. – Новочеркасск, 1896.

17. История Правительствующего Сената. Т. III. – СПб., 1911.

18. Столетие Военного Министерства 1802 – 1902 гг. Главное управление казачьих войск. Исторический очерк. Т.XI. В 2-х ч. – СПб: Сунодальная типография, 1902.

Материал поступил в редакцию 15.01.09.

S. VOSKOBOYNIKOV

THE DON COSSACKS IN THE BEGINNING OF XIX CENTURY

In clause{article} are considered{examined} a social and economic situation on Don developed to the beginning of XIX century, and also reform spent by the Russian government and ataman M.I.Platovym during the period with 1802 for 1804.

ВОСКОБОЙНИКОВ Сергей Георгиевич (р. 1968), старший преподаватель кафедры «История и культурология» ДГТУ, кандидат исторических наук (2006). Окончил исторический факультет РГУ (1996).
Научные интересы: история Донского края.
Количество публикаций более 20.

emikova@dstu.edu.ru

УДК. 339.7

И.Н. ЕФРЕМЕНКО

ОСОБЕННОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ВАЛЮТНОЙ ИНТЕГРАЦИИ СТРАН АФРИКИ

Дан анализ основных тенденций экономической, финансовой и валютной интеграции в африканском регионе. Исследованиями подтверждена необходимость и актуальность теоретической проработки поставленных вопросов.
Ключевые слова: *региональная экономическая, валютная и финансовая интеграция в Африке, глобализация, активация.*

Введение. Региональная интеграция и глобализация имеют в основе одинаковые движущие силы, общие технологические предпосылки и являются важными звеньями процесса интернационализации хозяйственной жизни современной мировой экономики. Однако принципиальная разница состоит прежде всего в пространственных характеристиках, а также в разной платформе движущих факторов. Так, расширение процесса глобализации обусловлено стихийным разрастанием действия рыночных факторов и частнопредпринимательских инициатив, в то время как регионализация предполагает действие мощного политического компонента.

Конечной целью региональной интеграции является создание общего экономического пространства среди участвующих стран. Освоение оптимальных форм экономической, финансовой и валютной интеграции становится приоритетной задачей для монетарных властей ряда государств в контексте разработки и реализации ими стратегии адаптации к процессу экономической и финансовой глобализации. Сложность и многоаспектность современного развития отдельных регионов и мировой экономики в целом демонстрируют многовариантность интеграционных процессов, что подтверждает необходимость и актуальность теоретической проработки поставленных вопросов. Однако на сегодняшний день при разработке и внедрении интеграционных механизмов многие регионы мира наметили иную, нежели в Европе, модель интеграции, имеющую конечной целью не переход к единым деньгам, а реализацию политики межгосударственной экономической конвергенции.

Позитивным аспектом реализации скоординированной[1] денежно-кредитной политики, помимо синхронизации экономического развития стран объединения, выступают: возможность достижения нескольких целей при ограниченном наборе инструментов денежно-кредитного регулирования; возможность интернационализации внешних эффектов. Это особенно актуально для развивающихся стран рассматриваемых регионов. Вместе с тем такая форма финансово-экономической интеграции оставляет монетарным властям возможность маневрирования денежно-кредитными инструментами в ситуациях нестабильности, неопределенности либо турбулентности на финансовом рынке, а также возможность принятия автономных решений, что отвечает требованиям текущего экономического развития стран азиатского и африканского регионов.

[1] В отношении африканского региона мы употребляем именно термин «скоординированная денежно-кредитная политика», а не «единая денежно-кредитная политика».

Постановка задачи. Страны Африки играют все более заметную роль в глобальной экономике, и потому вопрос создания и развития нового звена мировой финансовой архитектуры – региональных экономических и валютных союзов этих стран – получает большую актуальность и вызывает несомненный научный интерес.

Активизация создания региональных сообществ в африканском регионе. Инициативы в отношении региональной экономической интеграции среди африканских стран достаточно активно осуществлялись еще во времена колониальной политики и особенно в 1960-е гг, был создан не один десяток блоков и группировок, которые охватили почти все страны африканского континента.

Сознательные и более продуманные усилия на континентальном уровне были предприняты только в 1991 г, когда впервые был поднят вопрос о создании единой валютной зоны в Африке, закрепленный в Договоре об Организации Африканского Союза. Соглашение Абуджа регламентировало основание Африканского Экономического Союза и определило последовательность действий по образованию единой валютной зоны в Африке к 2028 г. Начальные стадии предусматривают укрепление достигнутой в настоящее время региональной кооперации и интеграции. Заключительная стадия повлечет за собой учреждение Африканского Центрального Банка (АСВ) и впоследствии создание и введение в оборот единой африканской валюты и Африканского Экономического и Валютного Союза.

Существуют и другие инициативы в этом отношении. Например, Декларация Сирте Африканского Союза 1999 г не только оставила на повестке дня вопрос об Африканском Экономическом и Валютном Союзе, но и создала предпосылки для ускоренного создания институциональной структуры союза (речь идет прежде всего о создании Африканского Центрального Банка). В новой договоренности суб-региональные валютные союзы, как ожидалось, сформируют точку опоры для единого Африканского Центрального Банка и единой валюты.

Существуют три важных обстоятельства, объясняющие активизацию в последние два десятилетия усилий и проектов по созданию валютного союза в Африке. Прежде всего, очевидно, что успешная реализация проекта по введению евро подогрела интерес в других регионах мира, начиная от Восточной Азии до Латинской Америки и Ближнего Востока. Валютный союз в связи с этим воспринимается теперь как способ усилить региональную зависимость и достичь большей гармонии. С другой стороны, существуют ожидания восстановить слабые на сегодняшний день национальные экономические и политические институты в связи с созданием надрегиональной архитектуры, где единая валюта и валютный союз стали бы мощными символами. Кроме того, активизация создания региональных сообществ в африканском регионе может быть объяснена объективной слабостью государств этого региона перед лицом расширяющейся финансовой глобализации. Регионализм становится сегодня одним из способов справиться с глобальной трансформацией, так как большинству стран недостает собственных сил и средств для того, чтобы преодолеть такие проблемы на национальном уровне [8]. Это особенно актуально в отношении африканского региона.

В настоящее время внутри региона действует пять основных экономических объединений, которые охватывают все страны Африки: Арабский Магрибский Союз (AMU); Общий рынок стран Восточной и Южной Африки (COMESA); Экономическое Сообщество центральноафриканских государств

(ECCAS); Экономическое Сообщество западноафриканских государств (ECOWAS); и Сообщество Развития стран Южной Африки (SADC).

Кроме того, существуют восемь других региональных интеграционных объединений, которые являются подмножествами указанных выше организаций. Среди них: Экономическое и Валютное Сообщество центральноафриканских стран (CAEMC), состоящее из шести стран из состава ECCAS; Экономическое сообщество стран Великих Озер (CEPGL), состоящее из трех членов ECCAS; Восточноафриканское Сообщество, состоящее из стран COMESA и SADC; Комиссия Индийского океана (IOC), включающая пять стран, четыре из которых входят в состав COMESA и одна является колонией Франции.

На территории региона действуют и ряд других союзов: Учреждение межправительственного развития (IGAD); объединение семи стран Восточной Африки и северной части Восточной Африки; Союз стран бассейна реки Мано (MRU), все три страны которого являются членами ECOWAS; Западноафриканский экономический и валютный Союз (UEMOA), включающий восемь членов ECOWAS; и Южноафриканский Таможенный Союз (SACU), состоящий из пяти государств-членов SADC; Западноафриканская валютная зона (WAMZ), включающая пять стран-членов ECOWAS (Гамбия, Гана, Гвинея, Нигерия и Сьерра-Леоне).

Африканские суб-регионы отличаются различной скоростью экономического и валютного сотрудничества, и пока они не достигнут достаточной стабильности, Африканский Экономический и Валютный Союз не сможет в полной мере функционировать. Требуется создать сильную институциональную структуру, стимулирующую торговую и финансовую рыночные интеграции в этом регионе, которые, кроме того, будут способствовать формированию и реализации общей валютной политики.

Важно обратить внимание на предпосылки создания и экономическую основу обсуждаемого проекта для того, чтобы оценить вызовы и определить возможные перспективы.

Методы реализации обсуждаемой темы. В процессе проведения данного исследования и обоснования полученных результатов широко использованы общенаучные методы и инструментарные технологии научного познания, в том числе методы абстракции, историко-логического, сравнительного и ситуационного анализа, метод наблюдения, аппарат диагностико-мониторинговых обследований, компаративного и логического анализа.

Анализ основных тенденций экономической, финансовой и валютной интеграции в африканском регионе. Большинство африканских стран в течение 1980-х – начале 1990-х гг реализовали политику по укреплению позиций государства во всех сферах экономики и снижению роли частного сектора. Зарождающаяся промышленность стимулировалась государством через систему субсидий и была ограждена от мировой конкуренции, что выразилось в установлении высоких тарифных барьеров. Однако ограниченность внутренних рынков, нехватка капитала, технологий, квалифицированных кадров, недостаток ресурсов в конечном итоге выступили факторами, препятствовавшими созданию жизнеспособной внутренней индустриальной основы в большинстве африканских стран.

Политика ограничения импорта первое время активно финансировалась за счет доходов от продажи сырьевых товаров. Однако с уменьшением уровня этих доходов африканские страны начали осуществлять заимствования на международных рынках капиталов и у ряда специализированных институтов. Заимствованные средства невозможно было направить на финансирование производства, в результате выпуск реальной продук-

ции снижался, в то время как расходы, связанные с обслуживанием высокого долга, значительно увеличивались.

Африканские страны попытались решить экономический кризис комплексом следующих мер: были осуществлены заимствования на международных рынках капиталов в еще большем масштабе; введены ограничения на движение капитала; поддерживался переоцененный обменный курс, и сокращены бюджетные расходы по финансированию социального сектора. Такие меры сделали сектор сельского хозяйства совершенно неэффективным.

До сих пор африканские страны отличаются значительным отставанием по темпам развития от большинства стран мира. ВВП четырех крупнейших стран региона (Южная Африка, Египет, Алжир и Нигерия) в 2005 г составил 358 млрд дол. США, а это около 57,8% ВВП всего континента (619,45 млрд дол. США). Приблизительно 12 стран имеют валовой внутренний продукт меньше чем 1 млрд дол. США, в то время как 41 страна имеет валовой внутренний продукт меньше среднего в регионе уровня 12,12 млрд дол. США. Кроме того, в 2005 г 16 африканских стран имели доход на душу населения меньше чем 1000 дол. США. По данным UNCTAD, реальный рост ВВП континента составлял в среднем 2,2% в год в период 1987-1997 гг, 3,6% в 2002 г и 5,0% в 2005 году.

Доля Африки в мировом товарообороте в 1970-х гг составляла более 3%, но в 1980-е гг стала устойчиво снижаться. В период 1980-1995 гг, когда мировая торговля удвоилась в абсолютном выражении, внешняя торговля Африки оставалась на приблизительно том же уровне. В настоящее время торговля региона в мировой экономике составляет менее 1,5% совокупного объема мировой торговли.

Экономические и социальные прогнозы развития региона показывают, что более динамичного экономического развития можно достичь в том случае, если страны региона примут и осуществят стратегии по укреплению сотрудничества и регионализации в процессе интеграции в мировую экономику. Интеграция способствует достижению более динамичного экономического роста через действие таких факторов, как улучшенное распределение ресурсов, конкуренция, передача технологий и знаний, а также доступ к иностранному капиталу. В странах с открытой экономикой объемы торговли и инвестиций неизменно увеличиваются, и экономический рост еще больше содействует интеграции. На сегодняшний момент странам Африки, где все еще достаточно низок даже уровень взаимной торговли, предстоит реализовать большой комплекс мероприятий, направленных на расширение степени открытости их экономик. Двигаться предстоит в двух важных направлениях [1]:

1) обеспечение торгово-политической открытости, определяемой внешнеторговой, фискальной, валютной и другими направлениями макроэкономической политики государства. Она измеряется степенью освобождения межстрановых трансакций от искусственных (созданных властями) барьеров, осложняющих экономическое взаимодействие резидентов и нерезидентов по обе стороны государственной границы. В этом смысле идеальная открытость страны – это такая свобода от подобных барьеров, какая существует внутри страны для резидентов. Измерить уровень торгово-политической открытости страны представляется затруднительным, поскольку официальные импортные барьеры (тарифные ставки) усиливаются или заменяются различными паратарифными и нетарифными барьерами,

антидемпинговыми мерами и т.п. Кроме того, нельзя упускать из вида протекционистский эффект заниженного обменного курса национальной валюты;

2) обеспечение воспроизводственной открытости, определяемой степенью вовлеченности национальной экономики в систему мирохозяйственных связей. Она измеряется процентным соотношением суммы экспорта и импорта страны к объему ВВП. Для оценки уровня интегрированности нескольких национальных экономик важна именно воспроизводственная открытость, которая растет быстрее торгово-политической открытости.

Африка – регион со сложным сочетанием внешних и внутренних факторов, специфической историей и культурой демонстрирует сегодня тем не менее углубление процессов интеграции, особенно в регионе Западной Африки. В регионе имеются страны с «возникающей» экономикой (Нигерия, Гана, Кот-д'Ивуар), которые наряду с ЮАР и странами Северной Африки образуют группу наиболее динамично развивающихся в экономическом плане государств. Свидетельством углубляющихся процессов интеграции в Западной Африке служат создание трансафриканских компаний («Аир Африк»), совместные проекты в сфере инфраструктуры, расширяющаяся деятельность Абиджанской фондовой биржи, появление негосударственных организаций типа Федерации западноафриканских торговых палат или западноафриканской сети предпринимателей. Предпринимаются серьезные усилия по либерализации национальных валютных систем, особенно в странах Восточной и Южной Африки. Отдельные страны даже приняли обязательства МВФ по созданию валютных систем, свободных от ограничений на текущие операции.

Оценивая перспективы валютной интеграции между африканскими странами, необходимо отметить, что уже было реализовано несколько проектов, среди которых создание зоны французского франка, валютной зоны Рэнда, Западноафриканский экономический и валютный союз, Экономическое и валютное сообщество Центральной Африки и т.д. Несмотря на отдельные успехи, их деятельность нельзя признать удовлетворительной, поэтому разрабатываются все новые проекты валютной интеграции.

Все когда-либо обсуждавшиеся в регионе проекты конструирования экономического и валютного союза, так же, как и в Европе и Азии, опираются на теорию оптимальных валютных зон Р. Манделла.

Большая часть эмпирической литературы по вопросам экономической интеграции и созданию валютного союза в Африке исследует критические вызовы для эффективной организации валютного союза и объясняет, почему большинство союзов в Африке после начального энтузиазма начала 1960-х гг столкнулись с рядом трудностей.

В частности, было показано, что участие в зоне французского франка (CFA) оградило государства-члены блока от негативных проявлений экономической нестабильности 1970-х гг. Именно в этой группе стран темпы роста ВВП оказались значительно выше, чем в остальных странах Северной Африки. Кроме того, участие в других валютных союзах также предоставило сопоставимые преимущества и выгоды (так, например, страны валютной зоны Рэнда (RMA) также демонстрировали в период 1974-1993-х гг высокие темпы экономического роста и рост инвестиционной активности в условиях низкого уровня инфляции) [5].

Вместе с тем исследовалась эффективность зоны французского франка (CFA) и резюмировалось, что даже после 50 лет существования она не соответствует обычным критериям оптимальной валютной зоны [2]. Одним из главных недостатков зоны CFA называлась заметная неоднород-

ность ее состава [6]. Хотя авторы и обнаружили наличие высокой корреляции в уровнях инфляции для стран зоны CFA, взаимосвязи в темпах их экономического роста не наблюдалось. Авторы объяснили такую асимметрию роста высокой специализации стран в производстве сырьевых товаров, что делало их особо уязвимыми к внешним ударам.

Для африканских государств подтвердилось предположение, что участие в валютных союзах привлекательно, когда отсутствуют другие разумные альтернативы [5]. Доказательством служит факт, что при возникновении политической нестабильности страны отказываются от участия в валютных блоках. Так, например, был упразднен в 1966 г Восточно-Африканский валютный совет, а зона CFA и RMA лишились некоторых членов: Ботсвана вышла из состава RMA в 1976 г, Мавритания покинула WAMU в 1973 г, а Мали вышла из блока в 1973 г, но вернулась в 1984 году.

Функционирование валютной зоны в Южной Африке показало, что эта группа стран в целом соответствует критериям оптимальной валютной зоны [4], однако макроэкономические выгоды могли бы быть еще больше, если бы страны этой группы пошли до конца в формировании валютного союза. Эти страны обладали похожей структурой производства, рынки капитала демонстрировали развитие. Однако дестабилизирующее воздействие оказали торговые кризисы, снижение ассортимента экспорта и преобладание международной модели промышленной торговли. Ряд исследований, посвященных анализу развития торговли, показывают важность в этом процессе валютной интеграции [10].

Потенциальные выгоды либерализации торговли и интеграции для африканских стран являются признанными в теории эффекта масштаба [9]. Небольшой размер большинства национальных экономик африканского континента указывает на объединение как полезное средство расширяющихся рынков и увеличивающегося участия в мировой экономике.

Таким образом, ослабление торговых ограничений в пределах данного региона может способствовать снижению внутренних транспортных расходов, стимулировать внутрирегиональную торговлю – и, в конечном счете, увеличить темпы экономического роста и производительность государств-членов.

Теоретически развитие торговли в регионе выступает катализатором образования общей валютной зоны, поскольку торговая интеграция формирует межнациональную политическую и экономическую инфраструктуру, необходимую для эффективного валютного союза. Принятие внутрирегиональных торговых соглашений не ограничивает гибкость валютной политики. По сравнению с валютными союзами торговые союзы обеспечивают их участникам общие выгоды льготного таможенного режима при сохранении автономии валютной политики.

Несмотря на эти перспективы, торговые союзы в Африке показали ограниченные возможности для содействия экономическому развитию [7].

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод, что эффективность экономического и валютного союза зависит от того, насколько соглашение о сотрудничестве способствует формированию факторов сдержанности правительства, углубляет финансовую систему, уменьшает вероятность спекулятивных давлений и способствует усилению интеграции национальных экономик на африканском континенте.

Аналогично интеграционным процессам в валютной сфере в Европе можно сопоставить процесс становления единой африканской валюты – афро. Еще в 2002 г на состоявшейся в Алжире сессии глав центральных

банков стран Африки было принято решение о создании единой африканской денежной единицы. Одновременно был создан Африканский центральный банк, который в будущем, аналогично Европейскому центральному банку, будет осуществлять валютно-финансовую политику союза. Правда, тогда сообщалось, что введение единой африканской валютной единицы не имеет четкого графика и будет зависеть от процесса интеграции финансовых систем стран континента. До сих пор не реализовано никаких сколь-нибудь значимых мероприятий для дальнейшего развития единой африканской валюты и логично предположить, что даже при условии воплощения в жизнь этого проекта на африканском континенте, он не окажет заметного воздействия на дальнейшую трансформацию мировой валютной системы.

Заключение. В современной ситуации напряженности в мировой финансовой системе и по-прежнему высокого риска стремительного распространения кризисных проявлений на все сегменты и участки финансового рынка чрезвычайно важно взвешенно оценивать все инициативы по укреплению региональной интеграции во всех возможных ее формах. Очень важно не допустить перекоса в восприятии эффектов нарастающего процесса глобализации и не рассматривать различные формы регионального взаимодействия как механизм противодействия на пути глобализации. Сегодня отдельные экономисты все еще трактуют регионализацию как камень преткновения на пути глобализации. Высказывается идея, что региональные торговые соглашения создают преференциальные режимы внутри блоков и потому мешают экспортерам из третьих стран проникать на рынки стран-участниц [3]. В действительности, реальная интеграция, сопровождаемая сращиванием национальных экономик, расширением, переплетением и усложнением воспроизводственных процессов, усилением финансовой взаимозависимости, формированием скоординированных механизмов в реализации денежно-кредитной политики, созданием единой или схожей институциональной структуры финансовой системы и т.п., может рассматриваться сегодня как действенное средство адаптации национальных экономик к объективному процессу глобализации.

Анализ основных тенденций экономической, финансовой и валютной интеграции в африканском регионе свидетельствует, что развитие международной финансовой системы до сих пор во многом имеет асимметричный характер. Мы понимаем, что важнейшие финансовые институты национальных экономик выступают главными каналами интеграции финансовых систем, но дальнейшее развитие последних обусловлено во многом адекватной интерпретацией совокупности преимуществ и вызовов интеграции отдельных национальных финансовых систем в мировую финансовую архитектуру.

Библиографический список

1. Шишков Ю.В. Регионализация и глобализация мировой экономики: альтернатива или взаимодополнение? / Ю.В. Шишков. // Мировая экономика и международные отношения. – 2008. – №8. – С. 14.

2. Bayoumi, T. and J. Ostry. 1997. «Macroeconomic Shocks and Trade Flows within Sub-Saharan Africa: Implications for Optimum Currency Arrangements». Journal of African Economies, October 6(3). – P. 412-44.

3. Bhagwati J. Termites in the Trading System: How Preferential Trade Agreements are Undermining Multilateral Free Trade. Oxford, 2007.

4. Grandes, M.2003. «Macroeconomic Convergence in Southern Africa: The Rand Zone Experience». OECD Development Centre Working Paper No. 231, OECD, Paris.

5. Guillaume, D. M. and D. Stasavage. 2000. «Improving Policy Credibility: Is There a Case for African Monetary Unions?». World Development, August 28 (8).

6. Hadjimichael, M. T. and M. Galy. 1997. «The CFA Franc Zone and the EMU». Working Paper of the International Monetary Fund. WP156.

7. Hanink, D. M. and J. H. Owusu. 1998. «Has ECOWAS Promoted Trade among Its Members?» // Journal of African Economies, October 7 (3); Oyejide, T.A.1998. «Global Economic Through Multilateral Negotiations: Africa in the World Trade Organization», mimeo, AERC, Nairobi.

8. Hettne B. Globalism, the New Regionalism and East Asia. Selected Papers Delivered at the United Nations University Global Seminar 02-06.09.1996. P. 5

9. Oyejide, T.A.1998. «Global Economic Through Multilateral Negotiations: Africa in the World Trade Organization», mimeo, AERC, Nairobi.

10. Rose, A. K. 2000. «One Money, One Market: The Effect of Common Currencies on Trade» // Economic Policy, April 30; Engel, C. and A. Rose. 2002. «Currency Unions and International Integration» // Journal of Money, Credit, and Banking, November 34 (4); Frankel, J.A. and A. Rose. 1998. «The Endogeneity of the Optimum Currency Area Criteria» // Economic Journal, July 108 (449).

Материал поступил в редакцию 11.03.08.

I.N. EFREMENKO

SPECIFIC FEATURES OF ECONOMIC AND EXCHANGE INTEGRATION OF AFRICAN COUNTRIES

The analysis of the basic tendencies of economic, financial and monetary integration in the African region is given. Research confirms necessity and urgency of theoretical study of these questions.

ЕФРЕМЕНКО Инесса Николаевна, докторант, доцент кафедры «Международные финансово-кредитные отношения» Ростовского государственного экономического университета «РИНХ», кандидат экономических наук (2002). Окончила Ростовский государственный экономический университет «РИНХ» (1999).
Сфера научных интересов: новая мировая финансовая архитектура, трансформирующаяся в условиях глобализации.
Публикации: 27 статей, 2 монографии, 1 учебное пособие

efremenko@yandex.ru

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Статья должна быть представлена в двух экземплярах, распечатанных через 1,5 интервала на белой бумаге формата А4, ориентация книжная; шрифт Times New Roman, высота 14.

2. Текст статьи представляется также на магнитном носителе (дискета, CD-диск) в формате текстового редактора "Word for Windows 6.0" или передается по электронной почте.

3. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности: инициалы и фамилии авторов; полное название статьи; краткая (3-6 строк) аннотация; ключевые слова (3 – 8). Затем идет текст самой статьи, библиографический список.

4. Дополнительно к статье должен быть представлен реферат на английском языке, включающем инициалы, фамилию автора и полное название статьи.

5. Статья должна предусматривать разделы: введение (постановка задачи), методы испытаний, результаты эксперимента и их обсуждение, выводы или заключение.

6. Объем статьи не должен превышать 16 страниц машинописного текста, 5 рисунков или фотографий; обзора - 25 страниц, 10 рисунков; краткого сообщения - не более 3 страниц, 2 рисунков.

7. Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Каждый рисунок должен иметь подпись. Рисунки должны иметь контрастное изображение. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в формульном редакторе MS Word.

8. Размерность физических величин, используемых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.).

9. Библиографический список должен включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг - фамилии и инициалы авторов, название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц.

10. На отдельной странице должны быть представлены краткие сведения об авторах статьи (год рождения, год присвоения степени и звания, название вуза и год его окончания, должность, область научных интересов, количество публикаций).

11. Редколлегия оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

12. Статьи, не отвечающие правилам оформления, к рассмотрению не принимаются, рукописи и магнитные носители авторам не возвращаются. Датой поступления считается день получения редколлегией окончательного текста статьи.

13. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЖУРНАЛА (согласно действующей номенклатуре специальностей научных работников):

Физико-математические науки:

01.01.01 – Вещественный, комплексный и функциональный анализ;
01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела;
01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры;
01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Технические науки:

01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела;
01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры;
05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин;
05.02.04 – Трение и износ в машинах;
05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки;
05.02.08 – Технология машиностроения;
05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением;
05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии;
05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (по отраслям);
05.02.22 – Организация производства (по отраслям);
05.11.01 – Приборы и методы измерения по видам измерений;
05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям);
05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям);
05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ;
05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов;
05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы;
05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства;
05.26.01 – Охрана труда (по отраслям)

Гуманитарные науки:

Исторические науки и археология:
07.00.10 – История науки и техники
Философские науки:
09.00.08 – Философия науки и техники;
09.00.11 – Социальная философия

Социально-экономические и общественные науки:

Экономические науки:
05.02.22 – Организация производства (по отраслям);
08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)
Педагогические науки:
13.00.01 – Общая педагогика, история педагогики и образования;
13.00.18 – Теория и методика профессионального образования